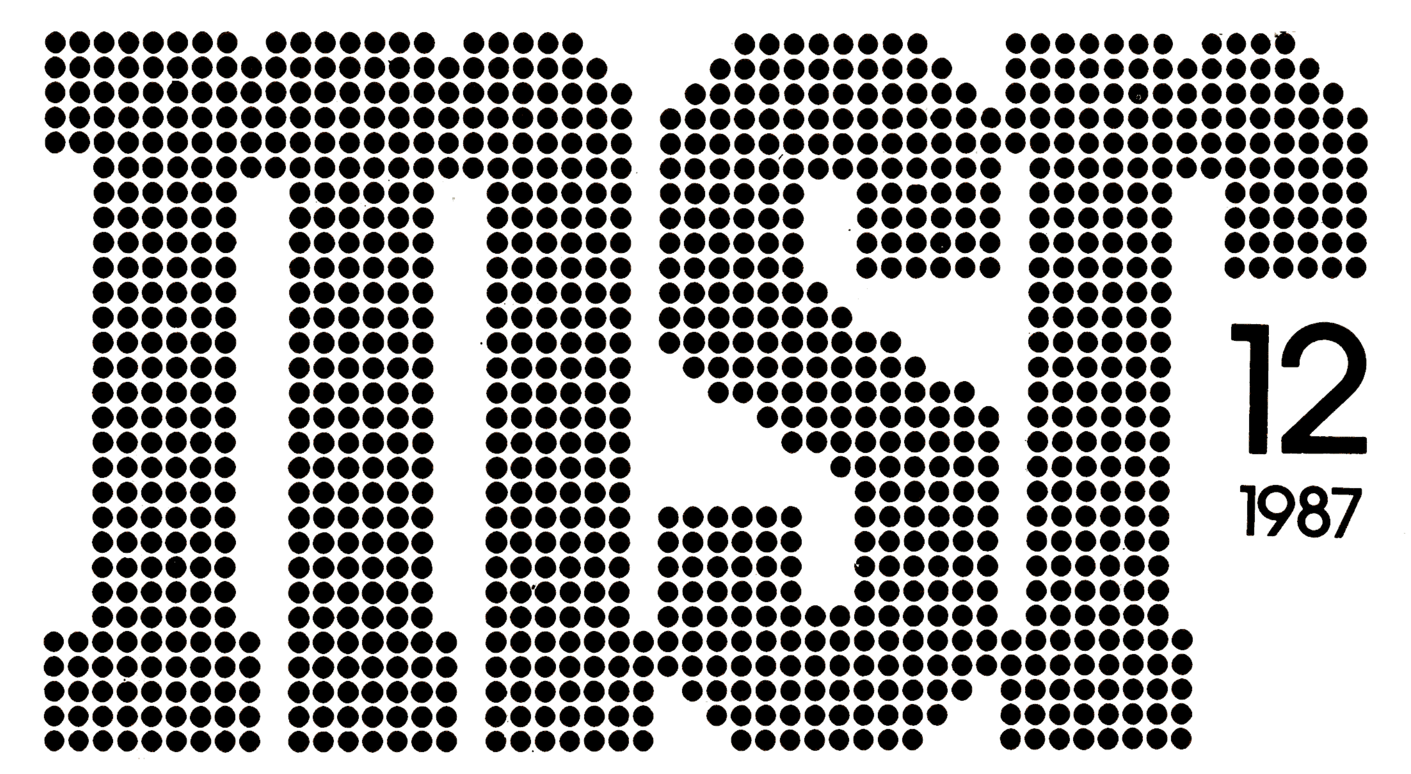


12
1987

messen · steuern · regeln

Dialog
Problemlöser
Semantisches Netz
Fakten – und Regelbasis



VEB
Verlag Technik
Berlin
EVP: 4,– M

Im Blickpunkt:

Beratungs-/Expertensysteme – notwendige und effektive Hilfen beim Entwurf und Betrieb automatisierter Prozesse

Die ständig wachsende Komplexität der zu lösenden Entscheidungsaufgaben beim Entwurf von Automatisierungsanlagen und bei der Diagnose, Überwachung, Steuerung und Planung von Mengen- und/oder Qualitätsparametern in technischen und nichttechnischen Prozessen hat in den letzten Jahren zu einer stürmischen Entwicklung von rechnergestützten Entscheidungshilfen für den Menschen geführt. Zum Entwurf und zur Realisierung dieser Entscheidungshilfen für die Prozeßautomatisierung stehen zunehmend technische Systeme mit erhöhter Leistungsfähigkeit (u. a. Sensorsysteme, Rechnersysteme) und neue theoretische Erkenntnisse der Entscheidungs- und Steuerungstheorie zur Verfügung. Gleichzeitig wuchs die Erkenntnis, daß mit wachsender Automatisierung aller gesellschaftlichen Prozesse, die auch immer mehr die motorischen und kognitiven Fähigkeiten des Menschen einschließt, die Notwendigkeit und Möglichkeit der zweckmäßigen Gestaltung von Mensch-Maschine-Systemen ein erstrangiges gesellschaftliches Bedürfnis geworden ist.
Das Spektrum der national und international entwickelten rechnergestützten Entscheidungshilfen ist sehr groß und durch eine Vielfalt von Begriffen und Strategien gekennzeichnet. Das vorliegende Schwerpunktheft soll einen Einblick in den Stand und die Entwicklung von rechnergestützten Entscheidungssystemen für die Prozeßautomatisierung geben. Es wird der Versuch einer Systematisierung des Entwurfs von Entscheidungshilfen (im weiteren mit dem Begriff Beratungssysteme bezeichnet) nach den Gesichtspunkten

(1) Zeitpunkt und Niveau der Entscheidungsunterstützung
(2) verfügbares A-priori-Wissen

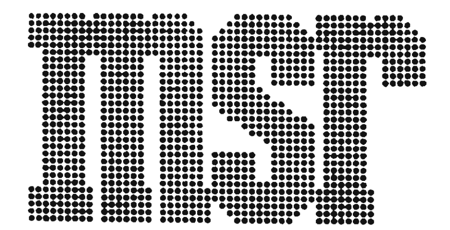
unternommen. Bei Anwendung dieser Gesichtspunkte werden die in letzter Zeit an Bedeutung gewinnenden, auf deklarativem Wissen und einer Schlußfolgerungsstrategie beruhenden Expertensysteme unter kybernetischer Sicht als Bestandteil eines Beratungssystems angesehen. Das Beratungssystem verwendet neben dem deklarativen Wissen (Expertensystem) vor allem Daten und Modelle sowie spezielle Problemlösungsstrategien (d. h. prozedurales Wissen).

Vor- und Nachteile der beiden prinzipiellen Entwurfswege werden in einer ersten Analyse aufgezeigt. Es ist zu erwarten, daß eine Kombination beider grundsätzlicher Entwurfswege optimale Lösungen verspricht.
Neben einer leistungsfähigen Rechentechnik sind dazu Sprachkonzepte erforderlich, die entsprechend dem zu verarbeitenden Wissen die Entscheidungsfindung optimal unterstützen, d. h. Kombinationen von logischen und prozeduralen Sprachen (z. B. Modula 2 und PROLOG).
Mit großer Intensität wird gegenwärtig an der Bewältigung folgender Aufgaben gearbeitet:

(1) Analyse zweckmäßiger Einsatzgebiete von Beratungs-/Expertensystemen in automatisierten Prozessen
(2) Entwicklung von Entwurfsstrategien für Beratungs-/Expertensysteme, insbesondere unter den Bedingungen der Echtzeitforderungen, der On-line-Kopplung am Prozeß, dynamischer Prozesse und der Verwendung gemischter Wissens- und Entscheidungsstrategien
(3) Methoden zur Ermittlung und Darstellung des erforderlichen Wissens sowie des maschinellen Lernens
(4) Methoden zur Lösung des Entscheidungs-/Steuerproblems
(5) Nutzung von Mitteln der Informatik auf den Gebieten der Sprachkonzepte, der Wissensdarstellung und -speicherung, der Dialogführung und von Rahmenexpertensystemen.

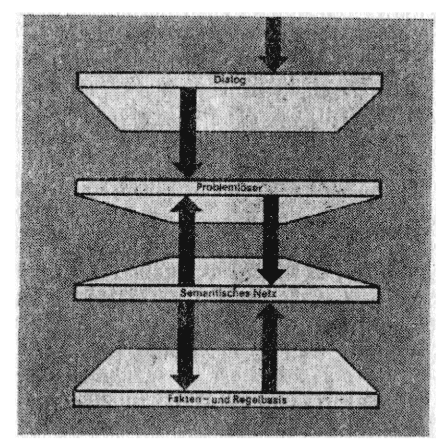
Die Beiträge dieses Heftes machen deutlich, welche großen Aufgaben noch zu lösen sind. Sie zeigen aber gleichzeitig erste erfolgreich realisierte praktische Ansätze.
Die weitere Entwicklung in Theorie und Praxis muß die realen Möglichkeiten und Grenzen dieser Konzepte zeigen. Der Fachausschuß „Beratungs-/Expertensysteme in der Prozeßautomatisierung" der WGMA wird sich den genannten gesellschaftlich wichtigen Fragestellungen widmen.

Prof. Dr. sc. techn. *J. Wernstedt*, Vorsitzender des FA „Beratungs-/Expertensysteme in der Prozeßautomatisierung" der WGMA
msr 8778



messen·steuern·regeln

Wissenschaftlich-technische Zeitschrift für die Automatisierungstechnik



Beratungs- und Expertensysteme sind zukunftsträchtige Informatikbausteine für die Lösung komplexer Automatisierungsaufgaben, bei denen der Mensch als Entscheidungsträger unterstützt, aber nicht ersetzt werden soll. Dieser aktuellen Thematik ist das vorliegende Heft gewidmet. Unser Beitrag auf S. 556, dem auch das Titelbildmotiv entlehnt ist, beschreibt ein Lösungskonzept zur Anwendung von Expertensystemen im Elektroenergiesystem.

Titelgrafik: *G. Schwesinger*

Herausgeber:

Wissenschaftlich-Technische Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik (WGMA) in der KDT

12

30. Jahrgang
Dezember 1987

VEB VERLAG TECHNIK

AUFSÄTZE

ISSN 0026-0347

D. Balzer; B. Böhme

Zum Einfluß der künstlichen Intelligenz auf Theorie und Praxis der Prozeßautomatisierung

0. Einleitung

Seit Beginn der 60er Jahre erhalten Theorie und Praxis der Prozeßautomatisierung zunehmend Impulse aus Bereichen, deren Theorien- und Methodenpotential als nichtkonventionell bezeichnet wird. Erinnert sei hier nur an solche Theorien und Methoden wie Fuzzy-Theorie [1], Polyoptimierung [2], zyklische Steuerung [3], Situationserkennung [4]. Ausgelöst wurde diese Entwicklung vornehmlich durch den steigenden Einsatz von freiprogrammierbarer Prozeßrechentechnik vor allem in der chemischen und artverwandten Industrie, bei dem allerdings sehr schnell eine allgemeine Ernüchterung eintrat. Es zeigte sich, daß aufgrund der Komplexität realer Steuerungsobjekte und -systeme, ihrer mehr oder weniger ausgeprägten nur unvollständigen Beobachtbarkeit sowie der herrschenden Echtzeitbedingungen an eine praktische Realisierung höherer Automatisierungsfunktionen allein auf Basis der klassischen Steuerungstheorie nicht zu denken war, zumal die Leistungsfähigkeit und vor allem die Zuverlässigkeit der damaligen Prozeßrechentechnik sehr bescheiden waren.
Die gegenwärtig verfügbare neue Generation von Automatisierungs- und Prozeßleittechnik, deren charakteristisches Merkmal in einer räumlich verteilten und hierarchisch strukturierten Prozeßdatenverarbeitung besteht, bietet in Verbindung mit den o. g. Theorien und Methoden erstmals die Voraussetzungen für die praktische Umsetzung von Automatisierungsaufgaben, die über einfache stabilisierende Steuerungen (DDC, Ablaufsteuerungen) hinausgehen. Es sei unterstrichen, daß diese Feststellung nicht nur für das Gebiet der entscheidungsunterstützenden Systeme gilt, obwohl natürlich hier die spektakulärsten Erfolge zu erwarten sind.
Mit der künstlichen Intelligenz (KI) ist nun eine relativ junge Wissenschaftsdisziplin zunehmend in den Blickpunkt der Prozeßautomatisierung gerückt. In enger Verbindung zur Psychologie und Linguistik erfolgt seit Anfang der 60er Jahre eine kontinuierliche Entwicklung dieses Teilgebietes der Informatik. Über heuristisches Programmieren (Mustererkennung, Computerschach) und automatisches Theorienbeweisen gelangte man Mitte der 70er Jahre zu den Anfängen einer leistungsfähigen Technologie der Wissensverarbeitung, die bis heute zur Entwicklung einer Vielzahl von speziellen Verfahren und Werkzeugen führte.
So ergibt sich aus den Anfängen der systematischen Heuristik über die Muster- und Situationserkennung eine folgerichtige Hinwendung von Theorie und Praxis der Prozeßautomatisierung zum Methodenpotential der KI [5]. Diese Entwicklung bedeutet dabei keineswegs eine Negierung bisher bekannter Verfahren der Steuerungstheorie. Vielmehr werden sie für nicht vollständig formalisierbare Aufgaben sowie im Fall unsicherer bzw. vager Prozeßinformationen sinnvoll ergänzt. Darüber hinaus ergeben sich Möglichkeiten für völlig neue Lösungsansätze in bekannten Aufgabenstellungen.
In diesem Beitrag werden allgemeine Entwicklungstendenzen aufgezeigt und ausgewählte Problemstellungen diskutiert, ohne dabei einen Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben.

1. Einsatzgebiete von Expertensystemen

Expertensysteme sind in den unterschiedlichsten Bereichen ingenieurtechnischer Entscheidungstätigkeit einsetzbar. Bei der Automatisierung reicht das Spektrum von ihrer Anwendung bei der Projektierung von Automatisierungsanlagen bis hin zur Steuerung komplexer Systeme. Eine schematische Übersicht enthält Bild 1. Eine Systematisierung der dabei zu bearbeitenden Problemklassen ist in Tafel 1 dargestellt. Gegenwärtig existieren nur für einige der aufgeführten Aufgabenklassen Beispiellösungen (siehe z. B. [6] bis [8]). Sowohl bei intelligenten CAD-Systemen als auch bei den echtzeitfähigen Expertensystemen für die Prozeßautomatisierung werden aber national und international Forschungsund Entwicklungsarbeiten intensiv vorangetrieben. Schwerpunkte sind dabei vor allem effektive Lösungen für

- die interne Wissensrepräsentation
- leistungsfähige Mechanismen zur Wissensverarbeitung
- eine umfassende Lernfähigkeit
- eine zuverlässige Mensch-Maschine-Kommunikation.

Tafel 1. Problemklassen und Anwendungsgebiete von Expertensystemen bei der Automatisierung

Nr.	Problemklassen	Eingangsinformation	Anwendungen	Ergebnisse
1.	*Klassifikation/Diagnostik* – bekannte Muster wiedererkennen – Hypothesen aus Beobachtungen ableiten	Meßwerte, Befunde	Interpretation, Überwachung, Fehlersuche	Situationsbeschreibung, Störungsanalyse Reparatur- bzw. Korrekturanweisung Eingangsinformation für Problemklassen 2. und 4.
2.	*Entwurf/Konstruktion* – schrittweises Eingrenzen der Lösung – Koordination verschiedener Beschränkungen	Anforderungen, Zielkriterien	Konfigurierung, Projektierung, CAD, CASE	Projekt, Liefervariante Konstruktionsunterlagen, Programmsystem (Software)
3.	*Simulation* – mögliche Folgezustände ableiten	Ausgangszustand	Vorhersage	Havarievorwarnung, Eingangsinformation für Problemklassen 2. und 4.
4.	*Planung* – Zwischenziele finden – Aktionsfolgen generieren	Ausgangs- und Zielzustand	Steuerung, Versuchsplanung	Steuereingriffe, Experiment

Prof. Dr. sc. techn. *Dietrich Balzer* (45) studierte von 1961 bis 1965 Automatisierungstechnik am Leningrader Technologischen Institut. Danach dort Aspirant. 1969 Promotion A, 1976 Promotion B. Von 1969 bis 1975 stellv. Direktor des Automatisierungs- und Rationalisierungszentrums im PCK Schwedt. 1975 Berufung zum Dozenten und 1978 zum o. Professor an der Sektion Automatisierungsanlagen der TH Leipzig. Seit 1979 Prorektor für Naturwissenschaften und Technik dieser Hochschule.

Dozent Dr. sc. techn. *Berndt Böhme* (40) studierte von 1967 bis 1972 an der Moskauer Hochschule für chemischen Maschinenbau in der Fachrichtung Automatisierung chemischer Prozesse. 1975 dort Abschluß einer Direktaspirantur mit der Promotion A. Von 1975 bis 1978 Industrietätigkeit. Ab 1978 Oberassistent an der Sektion Automatisierungsanlagen der TH Leipzig. 1983 Promotion B. 1984 Berufung zum Hochschuldozenten.

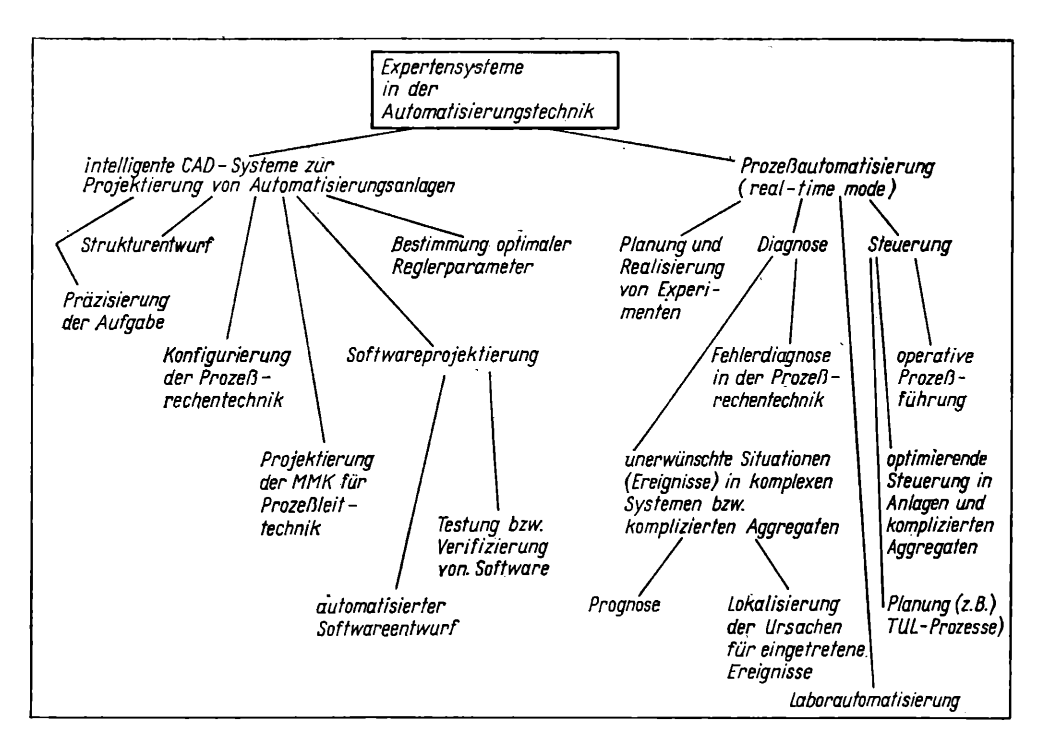


Bild 1. Aufgabenspektrum für Expertensysteme in der Automatisierungstechnik

Die Integration von Elementen der KI in Projektierungs- und Steuerungssysteme ist mit folgenden wesentlichen Vorteilen verbunden:

1. Es ergeben sich effektive Lösungsstrategien, vor allem für Aufgaben kombinatorischen Charakters (z. B. für Konfigurierungsprobleme).
2. Der Aufbau leistungsfähiger Systeme durch Kombination von algorithmischem Wissen mit prozeduralem Expertenwissen wird möglich.
3. Expertensysteme verfügen über eine hohe Flexibilität bei Systemerweiterungen sowie eine hohe Portabilität auf andere Aufgabenstellungen durch die strikte Trennung von Wissensbasis und Inferenzmaschine.
4. Es ist eine kontinuierliche Zunahme von KI-Werkzeugen (KI-Sprachen, Wissensrepräsentationssprachen, Shell's) für fast alle 16- und 32-bit-Computer zu verzeichnen, so daß der Entwicklungsaufwand für intelligente Systemlösungen drastisch zurückgeht.

Für die Prozeßautomatisierung eröffnen sich bei der Lösung der Automatisierungsaufgaben völlig neue Perspektiven (siehe Tafel 2). Dabei werden Expertensysteme einmal unmittelbar für die Lösung dieser Aufgaben eingesetzt (Methoden der KI als selbständiger Automatisierungsalgorithmus bzw. als selbständiger neuer Bestandteil der Automatisierungstheorie). Zum anderen besteht ein wesentlicher wichtiger Effekt des Einsatzes von Expertensystemen darin, daß viele bereits bekannte mathematische Methoden (algebraische Algorithmen) der Automatisierung bzw. Steuerung erst jetzt in breitem Umfang praktisch einsetzbar bzw. wesentlich weiterentwickelt werden (diese Einsatzmöglichkeit ist perspektivisch gesehen von größerer Bedeutung, was unter anderem darauf zurückzuführen ist, daß dadurch die Vorteile beider Algorithmentypen geschickt genutzt werden können und daß bereits vorhandene Software und Hardware wieder verwendet werden kann). Dabei handelt es sich um Methoden, die für die Lösung folgender Probleme bestimmt sind:

- Automatisierungsaufgaben höherer Dimensionen (über 5 frei wählbare Steuergrößen)
- Dekomposition und Koordinierung bei der Steuerung großer Systeme
- Einhaltung komplizierter Nebenbedingungen bei der Prozeßoptimierung und -sicherung (komplizierte mathematische Modelle, eine Vielzahl logischer Bedingungen usw.).

Die Automatisierungspraxis fordert in zunehmendem Maße die Lösung solcher Probleme. Gleichzeitig schafft die KI auch die Möglichkeiten zu ihrer Lösung. Bei der Formulierung und Ableitung von Steuerungsaufgaben ist, besonders gefördert durch die KI, ein gegenseitiges Durchdringen von Automatisierung und Technologie festzustellen. Dabei geht es als wichtigste Aufgabe um die Dekomposition des technologischen Gesamtsystems und der für dieses Gesamtsystem formulierten globalen Steuerungsaufgabe in kleinere und rechentechnisch lösbare Steuerungsaufgaben. Neben strengen mathematischen Methoden wurden bisher folgende, stark heuristisch orientierte Dekompositionsmethoden entwickelt [9]:

- komplexe Sensibilitätsanalyse der technologischen Systeme bei der statischen Prozeßoptimierung
- „dynamische" Dekomposition bei der Prozeßsicherung.

Beide Dekompositionsmethoden stellen eine Vielzahl von Regeln dar, die ohne den Einsatz der KI praktisch schwer handhabbar sind. Wenn jedoch diese Regeln in einer Wissensbasis — gekoppelt mit Fakten (Prozeßwissen) — die Basis für ein Experten-

Tafel 2. Perspektiven von Expertensystemen in der Prozeßautomatisierung bzw. -steuerung

Nr.	Automatisierungsaufgabe	Einsatzmöglichkeiten von Expertensystemen	Problemklassen
1.	*Prozeß-überwachung*	Interpretation: — Erfassung und Beurteilung der Gesamtsituation des Prozesses auf der Grundlage von Wissen über Ziel, Wesen und Umfeld der Produktion	Klassifikation
2.	*Prozeß-optimierung*	Optimierende Steuerung: — bei unvollständigen Prozeßmodellen — bei extrem komplexen bzw. komplizierten Prozeßmodellen — bei unvollständiger Meßwerterfassung	Klassifikation
3.	*Prozeß-sicherung*	Diagnose der Störungsursachen, Ermittlung der Auswirkungen und Ableitung von abgestuften Reaktions- und Reparaturmaßnahmen	Klassifikation, Simulation, Planung, Konstruktion
4.	*Operative Lenkung*	An- und Abfahrvorgänge — auf der Grundlage von Wissen über An- und Abfahrvorschriften	Klassifikation.
		— auf der Grundlage von Wissen über kausale Zusammenhänge und über das Ziel der Umsteuerung	Klassifikation, Simulation, Planung, Konstruktion
		Einsatz- und Ressourcenplanung und -verteilung	Klassifikation, Konstruktion

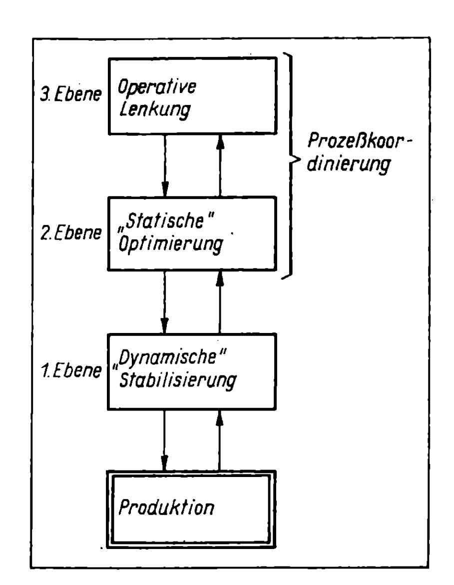


Bild 2. Dreistufige Steuerungshierarchie

system bilden, dann wäre eine praktisch anwendbare Methodik zur Formulierung von Automatisierungsaufgaben (im Sinne der Projektierung) gefunden.

Neben dem hier genannten Einsatz zur Prozeßanalyse bietet es sich natürlich auch an, die KI-Methoden für die unmittelbare Prozeßautomatisierung (Prozeßsteuerung) einzusetzen. Hierbei spielt die Echtzeitbefähigung der Expertensysteme eine entscheidende Rolle. Dieser Problematik ist der nächste Abschnitt gewidmet.

2. Kombination von Expertensystemen und algebraischen Automatisierungsalgorithmen

Anhand der Prozeßoptimierung soll gezeigt werden, wie mit der KI Aufgaben der Prozeßautomatisierung mit hohen Dimensionen und komplizierten Nebenbedingungen gelöst werden können [10]. Der theoretische Ausgangspunkt für den Entwurf von Algorithmen der Prozeßoptimierung ist folgende mathematische Aufgabenstellung:

$$Q = \int_0^T F(\boldsymbol{y}, \boldsymbol{u}, \boldsymbol{z})\, dt \to \min_{\boldsymbol{u}} , \tag{1}$$

$$\left.\begin{aligned} \dot{\boldsymbol{x}} &= \boldsymbol{f}(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{u}, \boldsymbol{z}) , \\ \boldsymbol{x}(0) &= \boldsymbol{x}_0 , \end{aligned}\right\} \tag{2}$$

$$\boldsymbol{g}(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{u}, \boldsymbol{z}) \geqq 0 , \tag{3}$$

$$\boldsymbol{y} = \boldsymbol{h}(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{u}, \boldsymbol{z}) . \tag{4}$$

$\boldsymbol{u}, \boldsymbol{z}, \boldsymbol{x}, \boldsymbol{y}$ Vektoren der Steuer-, Stör-, Ausgangs- und beobachtbaren Prozeßgrößen; T Zeithorizont der Optimierung

Die Beziehung (1) ist das (meist ökonomische) Optimierungskriterium, während (2) das mathematische Modell des Automatisierungsobjektes, (3) die Beschränkungen und (4) die Beobachtungsgleichung darstellen. Die Aufgabe (1) bis (4) der optimalen Steuerung der Produktion ist eine dynamische und nichtlineare Optimierungsaufgabe hoher Dimension, die im Echtzeitbetrieb gewöhnlich nicht lösbar ist. Unter Beachtung dessen, daß der Zeithorizont T um Größenordnungen die üblichen Zeitkonstanten der Störgrößen übersteigt, sowie durch eine getrennte Betrachtung von hoch- und niederfrequenten Störgrößen ist es i. allg. möglich, die Dynamik in der Aufgabenstellung (1) bis (4) zu vernachlässigen und als Lösungsansatz eine dreistufige Steuerungshierarchie zu wählen (Bild 2). Ohne die Allgemeinheit der Aussagen einzuschränken, erfolgen die weiteren Darlegungen unter Verwendung eines Beispiels (Bild 3).

Die Ergebnisse sind ohne Schwierigkeiten für komplexe Systeme höherer Dimensionen ebenfalls anwendbar. Die komplexe Aufgabe der operativen Lenkung und statischen Optimierung wird nun wie folgt mathematisch formuliert:

$$Q = F = F_1(m_1, m_2, S_1, v_1) + F_2(m_3, S_2, v_2, v_3) \to \min_{\boldsymbol{m}, \boldsymbol{S}} , \tag{5}$$

$$\left.\begin{aligned} v_1 &= f_1(m_1, m_2, S_1) , & S_1 &\in \tilde{\boldsymbol{S}}_1 \\ v_2 &= f_2(m_3, S_2) , & S_2 &\in \tilde{\boldsymbol{S}}_2 \\ v_3 &= f_3(m_3, S_2) , & S_2 &\in \tilde{\boldsymbol{S}}_2 \end{aligned}\right\} \tag{6}$$

$$\left.\begin{aligned} m_1{\downarrow} &\leqq m_1 \leqq m_1{\uparrow} \\ m_2{\downarrow} &\leqq m_2 \leqq m_2{\uparrow} \\ m_3{\downarrow} &\leqq m_3 \leqq m_3{\uparrow} \end{aligned}\right\} \tag{7}$$

$$\left.\begin{aligned} v_1 - m_3 &= \Delta_1 \\ v_3 - m_2 &= \Delta_2 \end{aligned}\right\} \tag{8}$$

Für die Lösung dieser Aufgabenstellung im Echtzeitbetrieb wurden Methoden und Algorithmen der Mehrebenensteuerung entwickelt. Der Nachteil solcher Lösungsalgorithmen besteht allerdings darin, daß zur Lösung des Optimierungsproblems mehrere Iterationen notwendig sind und daß hohe Genauigkeitsanforderungen an das mathematische Modell gestellt werden.

Wesentliche Verbesserungen der algorithmischen Struktur können unter folgenden Voraussetzungen erreicht werden:

- Das Optimierungskriterium ist linear.
- Der Einfluß der Regimeparameter S_j ist bedeutend kleiner als der Einfluß der Durchsätze m_i.

Damit wird durch teilweise Linearisierung der Beziehungen (5) und (6) eine Neuformulierung möglich:

$$Q = \sum_{i=1}^{3} (c_m^i m_i + c_v^i v_i) + \sum_{j=1}^{2} c_S^j S_j \to \min_{\boldsymbol{m}, \boldsymbol{S}} , \tag{9}$$

$$\left.\begin{aligned} v_1 &= a_{10} + a_{11} m_1 + a_{12} m_2 + \gamma_1(m_1, m_2, S_1) \\ v_2 &= a_{20} + a_{23} m_3 + \gamma_2(m_3, S_2) \\ v_3 &= a_{30} + a_{33} m_3 + \gamma_3(m_3, S_2) \end{aligned}\right\} \tag{10}$$

$$\left.\begin{aligned} S_1^0 &= \arg \min_{S_1 \in \tilde{S}_1} \{\lambda_1^0 \gamma_1(m_1^0, m_2^0, S_1) + c_S^1 S_1\} \\ S_2^0 &= \arg \min_{S_2 \in \tilde{S}_2} \{\lambda_2^0 \gamma_2(m_3^0, S_2) + \lambda_3^0 \gamma_3(m_3^0, S_2) + c_S^2 S_2\} . \end{aligned}\right\} \tag{11}$$

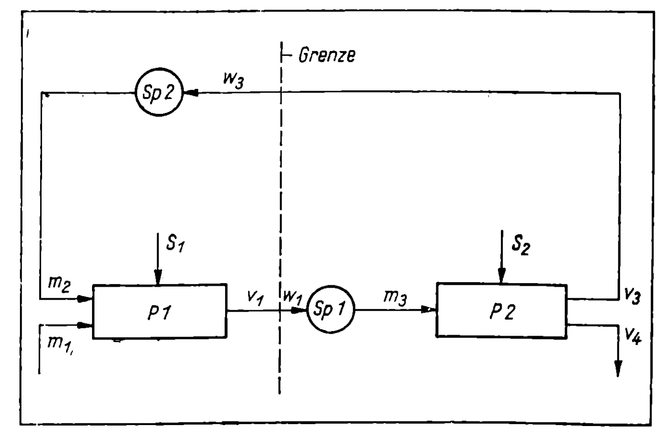
Die Koeffizienten c und a sind konstant, während die γ_i nichtlineare Restglieder darstellen. Die Beziehungen (7) und (8) bleiben als Beschränkungen für (9) bis (11) erhalten. Die Besonderheit der algorithmischen Struktur zur Lösung dieser Steuerungsaufgabe besteht darin, daß durch die Lösung der linearen Aufgabe (9), (10), (7) und (8) der Durchsatz m_i bestimmt wird, der sich an einer der Grenzen (7) befindet. Die übrigen Durchsätze werden nach Lösung von (11) unter Berücksichtigung von (8) und (10) korrigiert. Der Lösungsalgorithmus beinhaltet also keine Iteration und ist teilweise linear, was sich bezüglich seiner Echtzeiteignung natürlich günstig auswirkt.

Eine weitere wesentliche Verbesserung dieses Algorithmus kann erzielt werden, wenn bei der Stabilisierung auf eine starre Meßort-Stellort-Zuordnung verzichtet wird. Dadurch kann die Leistungsfähigkeit der Mikrorechentechnik voll ausgeschöpft werden.

Wenn man davon ausgeht, daß die Lösung einer linearen Optimierungsaufgabe immer auf einer aktiven Beschränkung liegt, so könnte man durch Lösung der linearen Aufgabe (9), (10) und (7) die aktive Beschränkung aus (7) bestimmen, womit einer der Durchsätze m_i festgelegt ist. Die übrigen Durchsätze werden durch die Bedingungen (8) bestimmt. So zeigt Bild 4 den Fall, bei dem der optimale Wert für m_2 im Ergebnis der linearen Optimierung an der oberen zulässigen Grenze liegt ($m_2^0 = m_2{\uparrow}$). Im Bild 5 ist die Stabilisierungsstruktur für $m_1^0 = m_1{\downarrow}$ darge-

Bild 3. Technologisches System

$P1$, $P2$ Teilprozesse; $Sp1$, $Sp2$ Speicher; S_1, S_2 Regimeparameter; m_1, m_2, m_3 Durchsätze (Steuergrößen); v_1, v_2, v_3, w_1, w_3 Durchsätze (Ausgangsgrößen)



stellt. Die Realisierung dieses neuartigen Steuerungsalgorithmus setzt den Einsatz eines Expertensystems voraus, das vor allem folgende Aufgaben löst:

- Überprüfung der Linearisierbarkeit gemäß (10)
- Auswahl der aktiven Beschränkung (ohne direkte Anwendung von Methoden der linearen Optimierung)
- Realisierung der Umschaltung von einer aktiven Beschränkung auf eine andere (z. B. Realisierung und Überprüfung einer „stoßfreien" Umschaltung).

Dieser Zugang, der auch für kompliziertere Beschränkungen als (7) anwendbar ist (z. B. in Form von linearen Kombinationen der m_i), setzt eine absolute Flexibilität der Regelalgorithmen und der Meßort-Stellglied-Zuordnung voraus. Damit werden neuartige Anforderungen an die Hardware und besonders an die Software zukünftiger Generationen von Automatisierungsanlagen auf Mikrorechnerbasis gestellt, die durchaus als erfüllbar angesehen werden können. Die hier gemachten Darlegungen zur Prozeßoptimierung zeigen, daß eine Dekomposition der nicht lösbaren globalen Aufgabe in mehrere lösbare Aufgaben möglich und notwendig ist.

Praktische Erfahrungen belegen, daß die Dimension der Einzelaufgabe nicht größer als 3 sein sollte. Außerdem müssen die Koordinierungsaufgaben mit Hilfe von Expertensystemen gelöst werden. Das bedeutet aber auch, daß die Dekomposition der globalen Aufgabe „KI-freundlich" erfolgen muß. Das heißt, daß die Koordinierungsaufgaben auf logische Operationen zurückgeführt werden müssen, die von der Nutzung von Expertenwissen ausgehen. Ähnliche Aussagen können auch für Prozeßsicherungsprobleme gemacht werden.

Im folgenden sollen nun einige Bemerkungen zur Anwendung von Expertensystemen zur Lösung von Aufgaben der Polyoptimierung und der zyklischen Steuerung gemacht werden, um zu zeigen, in welcher Form Expertensysteme zur Lösung von Adaptionsproblemen bzw. von Situationserkennungsproblemen eingesetzt werden können.

Aufgaben der Poly- oder Vektoroptimierung wurden anfangs vornehmlich in der Projektierung und Konstruktion beim Entwurf von Anlagen, Technologien und Arbeitspunkten betrachtet. Bei der Prozeßsteuerung finden mehrkriteriale Aufgaben erst in letzter Zeit stärkere Beachtung, nachdem in zunehmendem Maße geeignete Automatisierungsmittel für ihre Lösung im Echtzeitbetrieb zur Verfügung stehen.

Die Anwendung von Elementen der KI scheint vor allem für Verfahren mit Ersatzkriterium vorteilhaft. Sie haben im Vergleich zu den ungleich aufwendigeren Verfahren zur Bestimmung der effizienten Lösungsmenge den Nachteil, nur einen Punkt der Kompromißmenge zu bestimmen, dessen Lage durch Vorgabe von Koeffizienten des Ersatzkriteriums willkürlich beeinflußt wird. Dieser Nachteil kann durch die Einbeziehung von Expertenwissen bezüglich erwünschter zustandsabhängiger Charakteristika einer Kompromißlösung eliminiert werden. Mit Hilfe eines speziellen Expertensystems könnte der Nutzer zielgerichtet zu einer situationsbedingten Ideallösung geführt werden, ohne daß die gesamte Kompromißmenge berechnet und ausgegeben werden muß (was im höherdimensionalen Fall ohnehin erhebliche Schwierigkeiten bereitet).

Die zyklische Optimierung stellt eine Strategie zur Formulierung und Lösung statischer und dynamischer Optimierungsaufgaben dar, mit der effektivitätssteigernde Systemreserven erschlossen werden sollen.

Eine zyklische Optimierungsaufgabe kann man wie folgt formulieren [3]:

Gegeben sei eine verfahrenstechnische Prozeßeinheit, deren Produktivität durch die Zielfunktion $f_0(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{u})$ beschrieben wird. Zu bestimmen sind eine solche Funktion des Steuervektors $\boldsymbol{u}^*(t)$ und die Periodendauer T, für die das Funktional (12) seinen maximalen Wert annimmt:

$$\max I = \max \frac{1}{T} \int_0^T f_0(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{u}) \, \mathrm{d}t \tag{12}$$

bei den Nebenbedingungen

$$\frac{\mathrm{d}x_i(t)}{\mathrm{d}t} = f_i(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{u}) \,, \qquad i = 1, 2, \dots, n \,, \tag{13}$$

$$\int_0^T \varphi_j(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{u}) \, \mathrm{d}t = 0 \,, \qquad j = 1, 2, \dots, m \,, \tag{14}$$

$$\int_0^T f_i(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{u}) \, \mathrm{d}t = 0 \,, \qquad i = 1, 2, \dots, n \,, \tag{15}$$

$$\boldsymbol{x} \in \boldsymbol{R}_x \,, \qquad \boldsymbol{u} \in \boldsymbol{R}_u \,. \tag{16}$$

$\boldsymbol{x}, \boldsymbol{u}$ Vektoren der Ausgangs- und Steuergröße

Hierbei stellen (13) das mathematische Modell der Prozeßeinheit und (14) integrale Ressourcenbegrenzungen für einen Zyklus dar. Die Bedingung (14) bestimmt den zulässigen Wertebereich für die Zustands- und Steuervariablen bei jedem t. Die Zyklusbedingungen (15) garantieren, daß die aufgefundene zyklische Steuerung eine stationäre ist.

Die Besonderheit der Aufgabe (12) bis (16) besteht darin, daß weder die Periodendauer T als obere Integrationsgrenze des Funktionals (12) noch der Anfangs- oder Endzustand einer Periode vorgegeben sind und somit der Bestimmung unterliegen und T gleichzeitig als Divisor in (12) eingeht. Die Lösung der gestellten Aufgabe ist selbst für einfache dynamische Systeme sehr kompliziert und mit hohem numerischen Aufwand verbunden. Eine Nachführung zyklischer Optimalsteuerungen bei zeitvarianten Charakteristika ist im Echtzeitbetrieb nur für vereinfachte Aufgabenstellungen möglich [11]. Vor allem bei größerer Unsicherheit bietet sich die Integration von Expertensystemen an, um auf der Basis von Erfahrungswissen bezüglich günstiger Klassen für die Steuerfunktionen, Periodendauer, Basissteuerungen usw. zustandsabhängig zielgerichtet die zyklische Optimalsteuerung bestimmen zu können.

Man kann insgesamt die allgemeine Schlußfolgerung ziehen, daß aufgrund der sich ständig erhöhenden Komplexität der Steuerungsaufgaben selbst mit stark verbesserten algebraischen Steuerungsalgorithmen nichtlineare Aufgaben hoher Dimension (vor allem auch bei zeitvariablen Eigenschaften des Steuerungsobjektes) nicht in der notwendigen Zeit gelöst werden können,

Bild 4. Automatisierungsstruktur bei $m_2^0 = m_2\uparrow$
$R1$, $R2$, $R3$ Regelalgorithmen

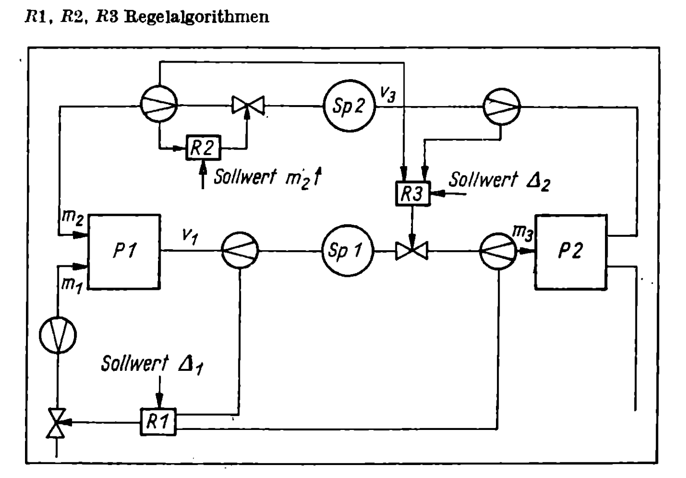
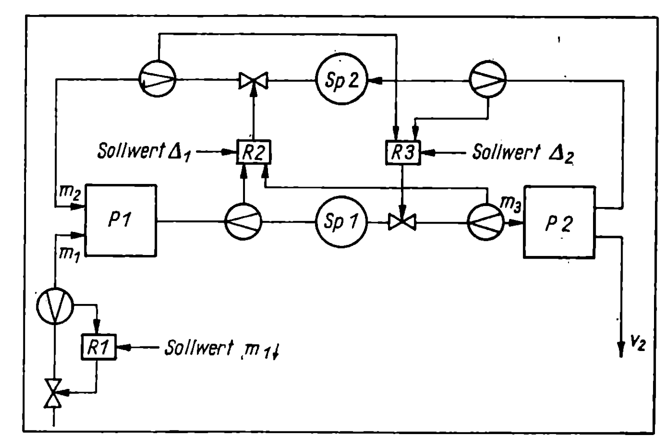


Bild 5. Automatisierungsstruktur bei $m_1^0 = m_1\downarrow$



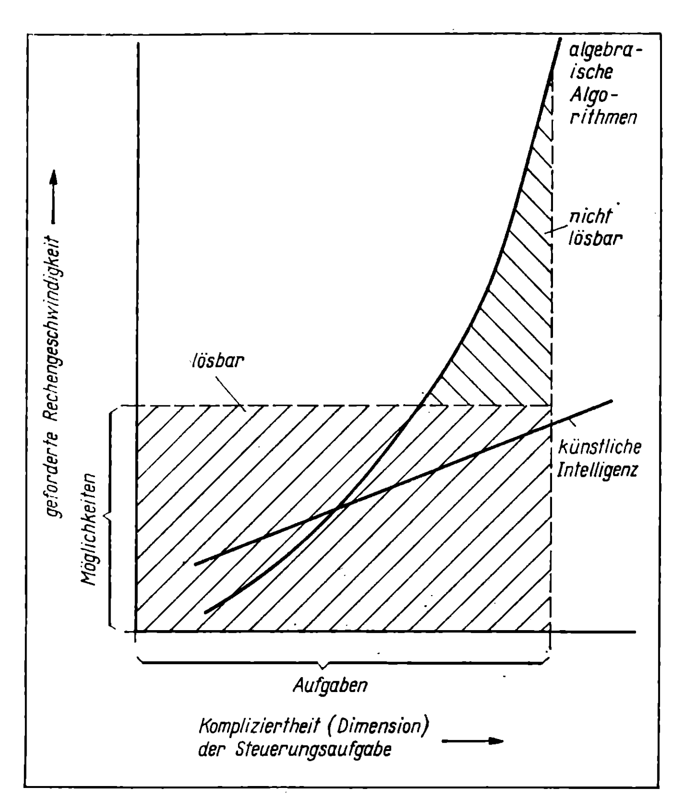


Bild 6. Vergleich der Leistungsfähigkeit algebraischer Steuerungsalgorithmen und KI-Algorithmen

um den Echtzeitforderungen gerecht zu werden. Der seit langem bekannte „Fluch der hohen Dimensionen" konnte mit klassischen Methoden nicht beseitigt werden, zumal die Steuerungsobjekte immer komplexer werden und die Dimension des Steuervektors ständig steigt. Bild 6 veranschaulicht den eindeutigen Vorteil von Steuerungssystemen mit Wissensverarbeitung. An dieser Stelle muß aber auch gesagt werden, daß KI nur dort eingesetzt werden sollte, wo algebraische Algorithmen die Steuerungsaufgabe nicht lösen können. Der Vorbereitungsaufwand für Expertensysteme ist bedeutend. Solche Systeme werden also in der „Grauzone" zwischen exakter Information über das Verhalten des Steuerungsobjektes (klassische Algorithmen) und keiner Information (keine Steuerung möglich) eingesetzt.

Schlußbemerkungen

Die sich gegenwärtig vollziehende Revolution in der Entwicklung der Produktivkräfte wird durch den Einsatz der Rechentechnik zur Automatisierung sowohl technisch-technologischer als auch geistiger Prozesse hervorgerufen. Rein äußerlich kommt diese Tatsache z. B. darin zum Ausdruck, daß der Softwareanteil bei Automatisierungsanlagen auf über 50% angestiegen ist. Eine tiefere wissenschaftliche Analyse zeigt allerdings, daß das Wesen der tiefgreifenden Veränderungen in der Automatisierung aus der immer engeren Verkettung von Mikrorechentechnik, Automatisierungstechnik und Automatisierungsobjekt resultiert. Das wiederum impliziert eine gegenseitige Durchdringung der entsprechenden theoretischen Komponenten: Informatik, Automatisierungstheorie und Verarbeitungs- und Verfahrenstechnik.
Diese Integration wirkt innovationsfördernd auf die Automatisierungstechnik und wird in der nächsten Zeit vor allem durch die breite Anwendung von Methoden der KI gestützt und beschleunigt. Daraus ergeben sich weitgehende Konsequenzen für die Automatisierungstheorie. Die klassische Automatisierungstheorie behandelte im wesentlichen scharf strukturierte Probleme. Es ging einmal um die Entwicklung und Einführung mathematischer Methoden zur Lösung vorgegebener Automatisierungsaufgaben. Zum anderen wurden Fragen der mathematischen Modellierung des Automatisierungsobjektes im Sinne der bekannten theoretischen und experimentellen Prozeßanalyse behandelt. Durch die Anwendung der KI können nunmehr auch nichtstrukturierte bzw. schwach strukturierte Probleme beim Entwurf und beim Betreiben von Automatisierungssystemen gelöst werden. Das führt zu einer wesentlichen Erweiterung der Automatisierungstheorie. Besonders wichtig ist die Kopplung von Methoden der KI mit den „klassischen" Automatisierungsalgorithmen. Es geht um die Ausnutzung von Expertenwissen (menschliche Erfahrung). Die Anwendung heuristischer Methoden in der Automatisierungstechnik ist zwar schon geraume Zeit bekannt, aber dieser heuristische Zugang hat erst jetzt eine reale Chance für eine Breitenanwendung gefunden, nachdem sowohl die rechentechnische Basis moderner Automatisierungssysteme als auch der Umgang mit Expertenwissen in sogenannten „Expertensystemen" auf ein bedeutend höheres Niveau gehoben wurden.

Literatur

[1] *Zadeh, L. A.:* Fuzzy sets. Inf. control (1965) 8, S. 338–353.
[2] *Peschel, M.; Riedel, C.:* Polyoptimierung – eine Entscheidungshilfe für ingenieurtechnische Kompromißlösungen. Berlin: VEB Verlag Technik 1976.
[3] Autorenkollektiv: Dynamische Grundoperationen der Verfahrenstechnik – Modellierung und optimale Steuerung. Berlin: Akademie-Verlag 1983.
[4] *Pospelow, D. A.:* Große Systeme – Situationssteuerung (in Russ.). Moskau: Snanie 1975.
[5] *Pospelow, D. A.:* Situationssteuerung. Theorie und Praxis (Russ.). Moskau: Nauka 1986.
[6] *Wernstedt, J.:* Methoden und Erfahrungen zur Prozeßsteuerung und Entscheidungsfindung durch den Menschen auf der Grundlage von Beratungs-/Expertensystemen. msr, Berlin 28 (1985) 7, S. 295—298.
[7] *Baldeweg, F.; Lindner, A.:* Rechnergestützte Analyse von Störungen. Berlin, Akademie-Verlag 1986.
[8] *Fuchs, H.:* Zum Verhältnis von künstlicher Intelligenz und Automatisierung. msr, Berlin 39 (1987) 10, S. 434—437.
[9] Autorenkollektiv: Einsatzvorbereitung von Prozeßrechnern. Berlin: Akademie-Verlag 1979.
[10] *Balzer, D.; Izković, E. L.:* Zusammenhang zwischen Mikrorechentechnik und Automatisierungstheorie. Wissenschaftliche Zeitschrift der TH Leipzig (1987) 3, S. 133–139.
[11] *Böhme, B.:* Optimierende Steuerung komplexer verfahrenstechnischer Systeme bei unvollständiger Ausgangsinformation. Dissertation B, TH Leipzig 1983.

msr 8736

D. Böhme; J. Wernstedt

Entwurfskonzepte für Beratungssysteme zur Lösung kybernetischer Aufgaben

0. Einleitung

Der Entwurf und die Anwendung von rechnergestützten Entscheidungshilfen für den Menschen — im weiteren mit dem Begriff *Beratungssystem* bezeichnet — hat in allen Bereichen der Gesellschaft in den letzten Jahren eine stürmische Entwicklung genommen. Als Ursachen sind u. a. die zunehmende Leistungsfähigkeit der technischen Systeme (insbesondere der Computertechnik), die ständig wachsende Komplexität der zu lösenden Entscheidungsaufgaben in technischen und nichttechnischen Prozessen und die Bereitstellung neuer theoretischer Erkenntnisse der Entscheidungs- bzw. Steuerungstheorie zu nennen. Gleichzeitig wurde begonnen, Mensch-Maschine-Systeme so zu gestalten, daß bei Ausnutzung der Fähigkeiten beider Teilsysteme, unter Beachtung der führenden Stellung des Menschen in diesem System, das Gesamtsystem „optimale" Leistungen vollbringt.
Im Beitrag wird versucht, die sich aus der (allgemeinen) kybernetischen Aufgabenstellung ergebende Vielfalt von Einsatz- und Entwurfsmöglichkeiten für Beratungssysteme zu systematisieren und für eingegrenzte Aufgabenstellungen den aktuellen Stand diesbezüglicher Alternativen zu diskutieren.

1. Stellung von Beratungssystemen im Rahmen der Kybernetik

Die Kybernetik und die Prozeßautomatisierung als deren technische Umsetzung beschäftigen sich mit der zielgerichteten Beeinflussung (Steuerung) von technischen und nichttechnischen Systemen [1] und [2]. Viele Jahre bestand das Hauptziel dieser Wissenschaften darin, ausschließlich automatische Entscheidungs-/Steuerungssysteme zu entwerfen und zu realisieren. Dieses Ziel wurde und wird für viele Systemklassen sehr erfolgreich realisiert. In diesem Zusammenhang muß erwähnt werden, daß die Kybernetik von Beginn an bestrebt war, nicht nur die motorischen, sondern auch die kognitiven Fähigkeiten des Menschen, z. B. das Erkennen, Klassifizieren, Lernen, Entscheiden, auf Automaten zu übertragen [3] und [4]. Auf der anderen Seite wurde deutlich, daß mit zunehmender Automatisierung die Notwendigkeit und die Möglichkeiten der Gestaltung von Mensch-Maschine-Systemen an Bedeutung gewinnen. Diese Erkenntnis war die Folge verschiedener historischer Entwicklungen. Zum einen erforderten die angewandten mathematischen Theorien, wie Entscheidungstheorie, Spieltheorie und Polyoptimierung, die Einbeziehung des Menschen in den Entscheidungsprozeß; zum anderen wurden nach einer gesellschaftlich weitgehend vollzogenen Prozeßautomatisierung verstärkt übergeordnete Steuerungsprobleme betrachtet. Dadurch mußten z. T. politische, ethische und moralische Aspekte der Entscheidungen berücksichtigt werden. Zusätzlich zeichneten sich betrachtete Systemklassen durch Unsicherheit, Komplexität und extrem nichtlineares Verhalten aus [5].
Gerade in diesem Zusammenhang wuchs im Bereich der Kybernetik die Erkenntnis, daß der Mensch (Operateur) auch „automatisch" ermittelte Entscheidungen/Steuerungen durch eine individuelle Strategie zur Verarbeitung von Fakten, Regeln und Erfahrungen verbessern kann [5] [2] und [6], was zur Entwicklung von Entscheidungshilfen in den vielfältigsten Formen führte.

Dr.-Ing. *Dietmar Böhme* (31) studierte von 1976 bis 1981 Technische Kybernetik an der TH Ilmenau. Danach bis 1985 dort an der Sektion TBK wissenschaftlicher Assistent. Seit 1985 Entwicklungsingenieur im VEB Wissenschaftlich-Technische Keramik Meißen, BT Langewiesen, mit einer Industriedelegierung an die TH Ilmenau. 1986 Promotion A.

Prof. Dr. sc. techn. *Jürgen Wernstedt* (47) studierte von 1958 bis 1964 Regelungstechnik an der HS für Elektrotechnik (später TH) Ilmenau. Von 1964 bis 1972 dort wissenschaftlicher Assistent. 1969 Promotion A. Von 1972 bis 1983 Hochschuldozent für das Gebiet Experimentelle Prozeßanalyse an der Sektion TBK der TH Ilmenau. 1979 Promotion B. Von 1983 bis 1985 Projektleiter Prozeßführung im VEB Mikroelektronik „Karl Marx" Erfurt. 1985 Berufung zum o. Professor für Systemanalyse der TH Ilmenau. Seit 1987 Direktor der Sektion TBK. Leiter des FA „Beratungs-/Expertensysteme in der Automatisierungstechnik" der WGMA. Korrespondierendes Mitglied der Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR.

Das Spektrum umfaßt Ratgebersysteme für die Lösung von Diagnose-, Überwachungs-, Steuerungs- und Planungsaufgaben für Qualitäts- und/oder Mengenparameter in technischen und nichttechnischen Systemen. Eine Auswahl der Begriffe, wie

- Decision Support System [7]
- Operative Steuerung/Beratungssysteme [8] [9] [5] und [10]
- Rechnergestützte Entscheidungshilfen/Interactive Decision Analysis and Support System [11] und [12]
- Fahrzeug-/Prozeßführung [13] und [14]
- Expertensysteme [15] bis [18] [5] und [19],

kennzeichnet bereits den methodischen und begrifflichen Umfang von rechnergestützten Systemen zur Entscheidungsfindung und Steuerung durch den Menschen.
Angesichts der Vielfalt von Begriffen und Strategien zur rechnergestützten Entscheidungshilfe soll in den folgenden beiden Abschnitten eine Systematisierung mit dem Ziel versucht werden, den aktuellen Stand und die Grenzen der Entwurfsstrategien darzustellen.

2. Systematisierungsgesichtspunkte für Beratungssysteme

Aufgrund der außerordentlichen, kaum systematisierbaren Vielfalt möglicher A-priori-Informationen, der für die Realisierung zur Verfügung stehenden materiellen Möglichkeiten (insbesondere Rechentechnik), der Verschiedenartigkeit der Steuerungsaufgaben wie auch der angestrebten Unterstützung des Operateurs zeichnen sich die bisher bekannten Lösungen durch entsprechende Heterogenität aus. Eine einheitliche, umfassende Entwurfsmethodik besteht nicht. Zur Systematisierung der prinzipiellen Anwendungsmöglichkeiten von Beratungssystemen sollen folgende Gesichtspunkte herangezogen werden:

1. Zeitpunkt der Unterstützung, bezogen auf den menschlichen Entscheidungsablauf (Unterstützungsniveau),
2. verfügbares A-priori-Wissen und anwendbare theoretische Grundlagen für den Entwurf der Entscheidungshilfen.

2.1. Unterstützungsniveaus der Beratungssysteme

Wenn von einem Dreistufenmodell des menschlichen Entscheidungsablaufes nach [4] und [20] in der Form

Entscheidungsvorbereitung → Entscheidung → Entscheidungsrealisierung

ausgegangen wird, können folgende Niveaus der Entscheidungsunterstützung angegeben werden:

a) *Unterstützung der Entscheidungsvorbereitung durch Beratungssysteme*

Das Anliegen dieser Unterstützungsform besteht darin, die i. allg. für den Operateur nur schwer zu übersehende Informationsmenge entscheidungsdienlich aufzuarbeiten. Unter Umständen kann versucht werden, neue Informationen zu gewinnen.
Spezielle Möglichkeiten sind:

- Informationserfassung/-archivierung (Registrierung von Prozeßzuständen, realisierten Steuerungen usw.)
- Informationsverdichtung/Informationsselektion (Anzeige von Prozeßzuständen, technologischen Vorgaben, Energie- und Hilfsmedienverbrauch usw.)
  * fest
  * wahlweise (operateurgesteuert)
  * situationsabhängig (situationsgesteuert)
- Informationsgewinnung (Berechnung ökonomischer Gütewerte für wählbare Zeitabschnitte, Signalvorhersagen, Trendanalysen, Klassifikation von Situationen (Zuordnung zu definierten Klassen/Diagnose), Vorhersage/Simulation der Entscheidungsauswirkung (Szenarientechniken) u. a.).

Bei der Realisierung jedes Beratungssystems müssen stets einige dieser Aufgaben gelöst werden, um die Akzeptanz des Systems zu sichern. Dabei bedingt hier der besonders hohe

Anteil an prozeßspezifischen Anforderungen einen großen Lösungsaufwand. Häufig können bereits allein durch die Unterstützung der Entscheidungsvorbereitung bedeutende ökonomische Effekte erzielt werden.

b) *Unterstützung der Entscheidungsfindung*

Auf die Strategien zum Entwurf von Beratungssystemen für diese Stufe der Entscheidungsfindung wird im Abschn. 2.2. ausführlich eingegangen.

c) *Eingriff des Beratungssystems in die Entscheidungsrealisierung*

Einen Leistungsparameter eines Beratungssystems stellt die Realisierungsmöglichkeit verschiedener Steuerregime, die durch die Begriffe „Handsteuerung", „automatische Steuerung" und „bedingt automatische Steuerung" gekennzeichnet werden sollen, dar [21]. „Handsteuerung" bezeichnet dabei die Arbeitsweise, daß alle vom Beratungssystem erbrachten Steuervorschläge vom Operateur eingeschätzt werden und er anschließend die Realisierung dieses Steuervorschlages oder einer von ihm festgelegten alternativen Steuerung veranlaßt. Bei dieser Arbeitsweise wird er nicht von Routineentscheidungen entlastet. Insbesondere bei rascher Entscheidungsfolge wird er oftmals zur Kritiklosigkeit gegenüber dem Beratungssystem verleitet.

Unter „automatischer Steuerung" wird in diesem Zusammenhang verstanden, daß der Operateur für einen begrenzten (von ihm gewählten) Zeitraum eine automatische Prozeßsteuerung zuläßt, um sich höher priorisierten Aufgaben (z. B. Mehrfachbedienung von Anlagen) zuzuwenden. Dabei muß i. allg. ein Güteverlust hingenommen werden, da bei „Nichtroutineentscheidungen" seine Erfahrungen nicht genutzt werden.
Bei der „bedingt automatischen" Steuerung erfolgt eine (vom Beratungssystem veranlaßte) Entscheidungszuweisung in Abhängigkeit der „Kompetenz" des Beratungssystems und/oder der des Operateurs. So wird ihm die Entscheidung bei untypischen, kritischen und schwer entscheidbaren Situationen zugewiesen oder, wenn aufgrund von ihm erfaßter physiologischer Parameter auf eine unzureichende Leistungsfähigkeit geschlossen werden muß, entzogen.
Als weitere Leistungsparameter sollte die Möglichkeit der Verblockung unerlaubter Stelleingriffe („technologisches Filter") herangezogen werden.

2.2. *Zusammenhang zwischen A-priori-Wissen und Problemlösungskonzept*

Die weiteren Ausführungen erfolgen schwerpunktmäßig unter dem Gesichtspunkt, daß mit dem Beratungssystem die eigentliche Entscheidungsfindung unterstützt wird. Als A-priori-Wissen für den Entwurf von Beratungssystemen kann mit den Methoden der Wissensermittlung bereitgestellt werden [10]:

1. Wissen über das Prozeßverhalten in Form von
   - Daten
   - Modellen in Form von Regeln und/oder Gleichungen
2. Wissen über bewertbares/zweckmäßiges/optimales Entscheidungs- bzw. Steuerverhalten in Form von
   - Daten
   - Fakten
   - Regeln (determinierte, stochastische, unscharfe).

Zur Ermittlung des Wissens stehen die im Bild 1 dargestellten Klassen von Methoden zur Verfügung. Die Verfahren der theoretischen und experimentellen Prozeßanalyse liefern nicht nur das beste „Tiefenwissen", sie haben auch sehr solide wissenschaftliche Grundlagen mit geringen heuristischen Elementen. Dagegen basiert das Erfahrungswissen des Experten, das durch eine Befragung oder durch eine Beobachtung gewonnen wird, dominierend auf heuristischen Elementen. Dieses Wissen (auch als „Oberflächenwissen" bezeichnet [19]) bildet bis jetzt in der Regel die Grundlage für den Entwurf von Expertensystemen. Im folgenden Abschnitt soll nun der Versuch unternommen werden, eine zweckmäßige Zuordnung von vorhandenem Wissen und Entscheidungsstrategie zu finden. Die Strategien sollen das Problem lösen, bei einer vorliegenden Situation s und dem in der Wissensbasis hinterlegten Wissen zweckmäßige Entscheidungsvorschläge u_s in Form von Werten, Trajektorien, Alternativen, Symbolen usw. dem Menschen zu unterbreiten. Damit wird von einem „universellen Problemlöser" Abstand genommen.

Ausgehend von dem verfügbaren Wissen über den Prozeß (siehe Bild 1) können Beratungssysteme auf den im Bild 2 dargestellten Wegen entworfen und realisiert werden.
Im einzelnen werden folgende Entwurfswege gesehen:

a) *Entwurf auf der Basis von Prozeßmodellen in Gleichungsform und Strukturen*

- A-priori-Wissen: Prozeßverhalten in Form von Gleichungen und/oder Strukturen
- theoretische Basis: Optimierung, Polyoptimierung, Lernverfahren
- spezielle Möglichkeiten: optimale Lösungen
- prinzipielle Schwierigkeiten: Modellgenauigkeit.

Die Grundstrategie dieses Entwurfsweges ist im Bild 3 dargestellt. Durch eine iterative Gestaltung der Entscheidungsfindung kann der Mensch insbesondere bei Unsicherheiten in den Nebenbedingungen, Zielfunktionen und Einflußgrößen die Entscheidungen wesentlich verbessern. Die Erfahrungen aus realisierten Einsatzfällen [5] zeigen, daß dieser Entwurfsweg für Entscheidungen unbedingt als Komponente in jedem Beratungssystem angestrebt werden sollte. Diese Aussage wird auch durch die internationale Entwicklung gestützt [22]. Beispiele für diesen Weg sind neben den bereits genannten Beiträgen in [23] bis [28] zu finden.

b) *Entwurf auf der Basis bewertbarer Endzustände*

- A-priori-Wissen: Regeln des Prozeßverhaltens, Wahrscheinlichkeiten, bewertete Zustände
- theoretische Basis: Entscheidungstheorie
- spezielle Möglichkeiten: Berücksichtigung des Entscheidungsverhaltens des Operateurs/Menschen
- prinzipielle Schwierigkeiten Übertragung von Entscheidungsbäumen auf allgemeine Steuerungsprobleme.

Dieser Entwurfsweg wird nach Einschätzung der Autoren zukünftig eine gewisse Bedeutung für solche Prozesse erlangen, für die Modellvorstellungen derart vorliegen, daß ein Prozeß, bedingt durch eine Folge von Steuerungen (Entscheidungsfolge) und stochastischen Einflüssen der Umwelt, mit unterschiedlichen Wahrscheinlichkeiten Zustände erreicht, die entsprechend einem Steuerungsziel über eine Nutzensfunktion bewertet werden können. Diese Modellvorstellung ist insbesondere bei Fertigungsprozessen angebracht, bei denen durch Entscheidungen über zu bearbeitende Posten, Lose und dergleichen auf Lagermengen und Maschinenbelegungen und somit auf die Produktionsmenge Einfluß genommen werden kann. Umfangreiche Literaturhinweise zu diesem Problem sind u. a. in [29] [30] und [39] zu finden.

c) *Entwurf auf der Basis subjektiver, unscharfer Steuerregeln*

- A-priori-Wissen: unscharfe Steuerregeln in linguistischer Form, beispielsweise: Wenn die Temperatur weit über dem Sollwert liegt, dann verringere stark die Heizgasmenge
- theoretische Basis: Fuzzy-Theorie
- spezielle Möglichkeiten:
  - scharfe oder unscharfe (linguistische) Ausgabe des Steuervorschlages
  - Angabe eines (nicht sachlogisch interpretierbaren) „Sicherheitswertes" für den jeweiligen Steuervorschlag
- prinzipielle Schwierigkeiten:
  - Festlegung von konkreten, zweckdienlichen Zugehörigkeitsfunktionen für Situationen und Reaktionen
  - Vollständigkeit der Regeln.

Sehr umfangreiche Untersuchungen sind zu diesem Entwurfsweg bereits seit Jahren durchgeführt worden. Sie sind z. B. in [31] bis [34] dargestellt. Der Schwerpunkt der Arbeiten lag in den Anfangsjahren darin, den Menschen durch eine automatische Steuer-/Entscheidungseinheit zu ersetzen. Dieses Anliegen steht heute auch bei diesem Entwurfsweg nicht mehr im Mittelpunkt.

d) *Entwurf auf der Basis logischer Regeln*

- A-priori-Wissen: Entscheidungs-/Steuerregeln in logischer Form: if/condition/then/action/
- theoretische Basis: Prädikatenlogik, Produktionssysteme, Spezialsprachen (PROLOG, LISP, OPS 5, OPS 83, Modula-Prolog)

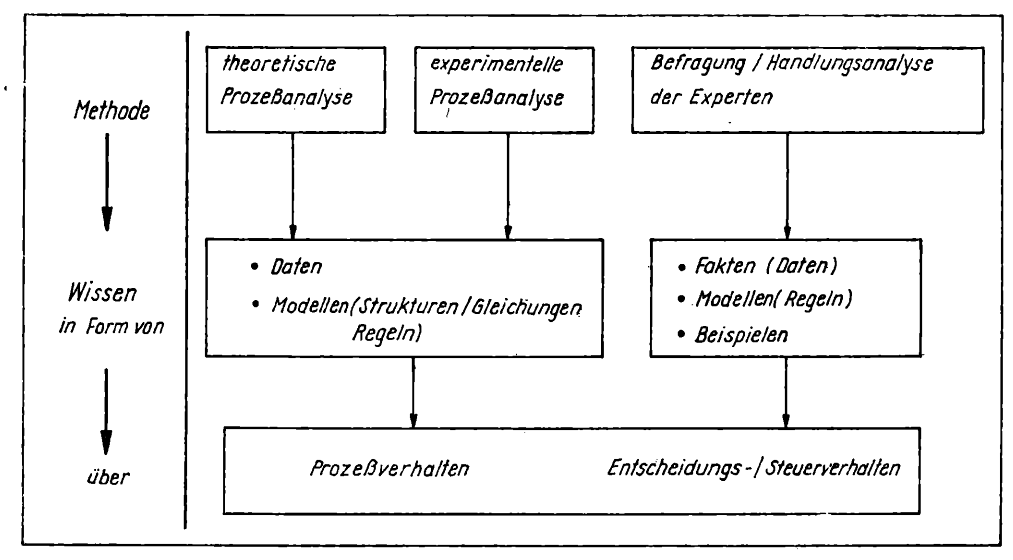


Bild 1. Methoden zur Wissensermittlung

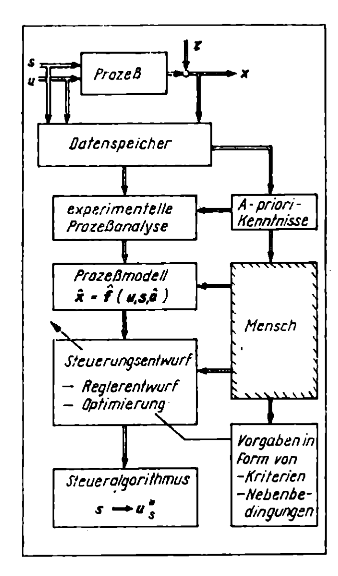


Bild 3. Entwurfsstrategie auf der Grundlage von prozeduralem Wissen

- spezielle Möglichkeiten:
  - bei erfolgsbewertbarer Reaktion sind leicht Lerneigenschaften realisierbar
  - bei Verwendung von Spezialsprachen kann leicht eine Veränderung der Regelmenge vorgenommen werden
- prinzipielle Schwierigkeiten:
  - Vollständigkeit der Regelmenge
  - fehlendes Maß für Ähnlichkeit von Regeln
  - Lernfähigkeit
  - Wissensermittlungsstrategien.

Dieser Entwurfsweg führt zum Konzept der Expertensysteme (Bild 4). Obwohl gerade zu dieser Problematik eine große Anzahl von Veröffentlichungen vorliegt, in denen beispielsweise durch den Begriff des „universellen" Problemlösers suggeriert wird, daß allgemeine kognitive Fähigkeiten eines Experten auch bei „unsicherem" und „diffusem" Wissen durch ein Expertensystem nachgebildet werden können, erscheint eine alleinige Anwendung solcher Systeme für Steuerungszwecke als sehr problematisch [35]. Dies hängt einerseits mit den momentan noch nicht befriedigend und kostengünstig vorhandenen Kopplungen zu stets erforderlichen prozeduralen Softwarekomponenten und zu einem echtzeitfähigen Betriebssystem, andererseits aber vorwiegend auch mit ungelösten theoretischen Fragen der Regelverarbeitung zusammen. Ungelöste Probleme können u. a. durch folgende Fragestellungen charakterisiert werden:

1. Wie kann gesichert werden, daß die durch eine „if/condition/then/action"-Regel bei vorliegender Prozeßsituation geforderte konkrete Aktion tatsächlich dem Steuerziel dienlich ist (Zweckmäßigkeit der Regeln)?
2. Wie kann gesichert werden, daß für eine konkrete Prozeßsituation nicht zugleich mehrere Regeln mit u. U. widersprechenden Aktionen gültig sind (Widerspruchfreiheit der Regelmenge)?
3. Wie kann gesichert werden, daß für alle die Prozeßsituationen, die einen Eingriff (Steuerhandlung) erfordern, auch eine dementsprechende Regel vorliegt (Vollständigkeit der Regelmenge)?

Diese Fragestellungen verschärfen sich drastisch gerade durch die bereitgestellten Möglichkeiten zur Manipulation der Regelmenge (Wissensbasis) im laufenden Betrieb.
Relativ leistungsfähige Rahmenexpertensysteme hinsichtlich der oben erwähnten Kopplungsproblematik sind:

EXTRAN-7 (FORTRAN), SAVOIR (PASCAL), INSIGHT 2+ (PASCAL), RULEMASTER (C). Sie verfügen bereits über Eigenschaften, die bei der Bewältigung von Entscheidungsaufgaben

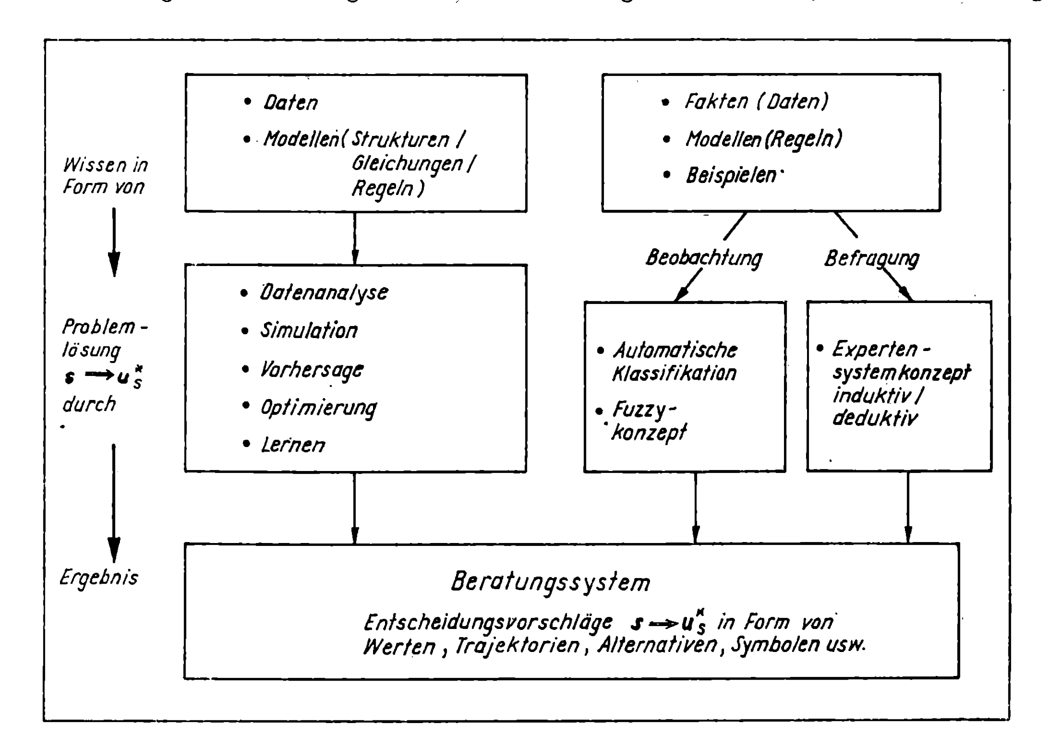
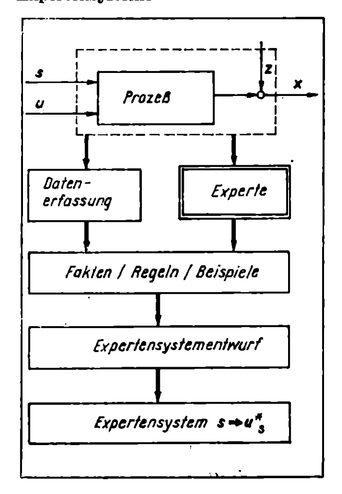


Bild 2. Entwurfsmethoden für rechnergestützte Entscheidungshilfen

Bild 4. Entwurfsstrategie auf der Grundlage von deklarativem Wissen — Expertensysteme



in automatisierten Systemen notwendig sind. Dies sind insbesondere:

1. Vorhandene Schnittstellen zu einer prozeduralen Sprache
2. Zugriff zu Datenbanken
3. Möglichkeit der Unterbrechung der Problemlösungsstrategie durch Beachtung von Prioritäten
4. Möglichkeit der zeitlichen Begrenzung des Problemlösungsprozesses
5. Lauffähigkeit des Expertensystems auf einem Multitasking-Betriebssystem
6. Möglichkeit zur On-line-Kopplung und zum Echtzeitbetrieb.

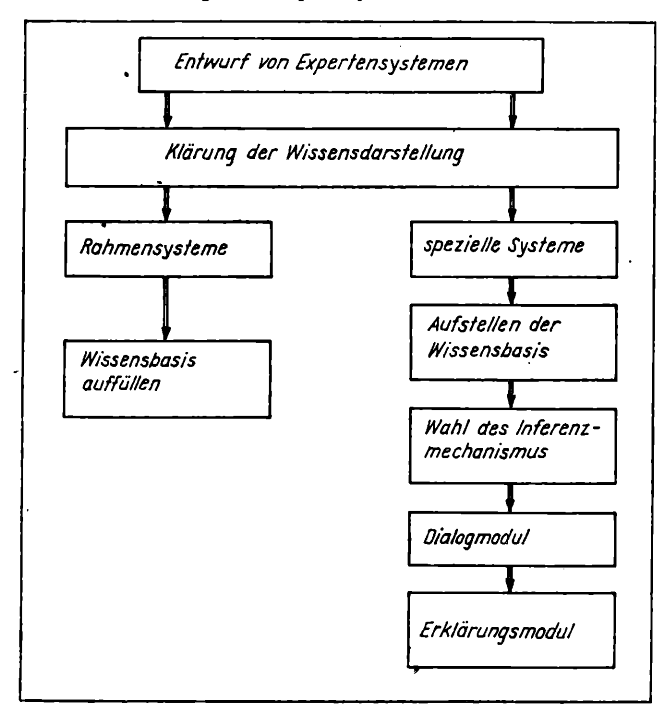
Die Umsetzung erfordert 16-bit- und 32-bit-Rechnersysteme mit ausreichendem Speichervermögen. In neuerer Literatur wird die Tendenz der Kopplung von logischen und prozeduralen Sprachen, um die jeweilig beste Unterstützung entsprechend dem vorliegenden Wissen zu geben und überhaupt erst eine prozeßseitige Schnittstelle zu ermöglichen, sehr deutlich [36] und [40]. Gleichzeitig können Vorteile beider Sprachkonzepte, die in der Tafel ausgewiesen sind, genutzt werden [37]. Umfangreiche Literaturhinweise zu diesem Entwurfskonzept sind u. a. in [38] und [19] enthalten.

Im engeren Sinn besteht bei der Verwendung von Rahmensystemen der Entwurf nach Klärung der Wissensdarstellung nur im Füllen der Wissensbasis (Bild 5). Der Entwurf spezieller Expertensysteme, die häufig wesentlich effektiver sind als Rahmensysteme, sollte nach den vorliegenden Erfahrungen in den im Bild 5 dargestellten Stufen erfolgen und von einer Sprachumgebung, z. B. PROLOG, Modula-Prolog, LISP und OPS 83, unterstützt werden.

Hinzu kommt unter dem Aspekt der Realisierung, daß selbst der Entwurf der Expertensysteme nicht auf traditionelle prozedurale Sprachkonzepte verzichten kann. So belegt eine Einschätzung von DEC (1986) aus der Analyse von 120 realisierten Projekten auf VAX-Rechnern, daß ein Expertensystem zu 20% aus Elementen der künstlichen Intelligenz und zu 80% aus traditioneller Datenverarbeitung für Benutzerdialog, arithmetische Funktionen, Statistik, Grafik, Prozeßanschluß usw. besteht.

e) *Entwurf auf der Basis erfolgsbewerteter Steuerhandlungen des Operateurs*
   - A-priori-Wissen:
     - Daten über aufgetretene Situationen, daraufhin erfolgten Reaktionen und deren Bewertung
   - theoretische Basis:
     - Automatische Klassifikation

Bild 5. Entwurfsstrategien von Expertensystemen



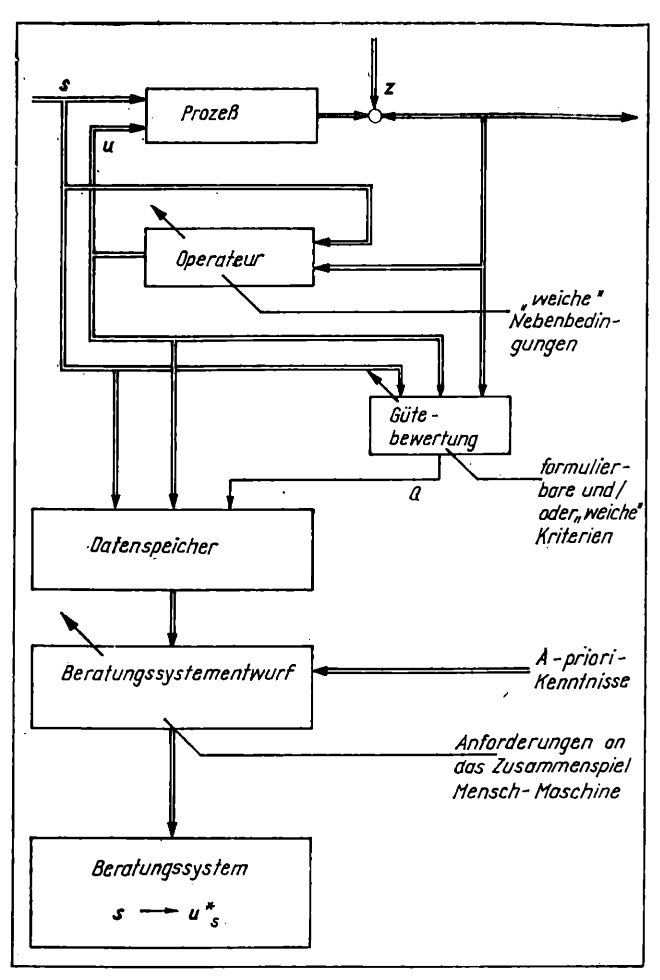


Bild 6. Entwurfsstrategie auf der Basis einer erfolgbewerteten Handlungsanalyse

- spezielle Möglichkeiten:
  - fallbedingte Entscheidungszuweisungen; Realisierung des Steuerregimes „bedingt automatisch" möglich
  - teilweise Abbildung des Entscheidungsverhaltens des Operateurs, insbesondere der von ihm beachteten „weichen" Nebenbedingungen
  - Einbeziehung nichtformalisierbarer Gütebeurteilungen
  - Einbeziehung von Daten des qualitativen Datentyps
- prinzipielle Schwierigkeiten:
  - Festlegung von Situationsmerkmalen
  - Gütebewertung der Steuerhandlungen bei dynamischen Steuerungsaufgaben.

Im Bild 6 ist die allgemeine Struktur des Entwurfs von Beratungssystemen dieses Weges und im Bild 7 sind die prinzipiellen Etappen bei Verwendung der Methoden der automatischen Klassifikation dargestellt. Dieses Entwurfskonzept wurde in [21] vorgeschlagen und wird zur Zeit in einer Reihe von Einsatzfällen erprobt.

Zusammenfassung

In der Regel wird bei der Lösung von praktischen Problemen eine Kombination der fünf vorgestellten Entwurfsstrategien erforderlich sein. Dabei wird bei Systemen, die vom Menschen konzipiert und realisiert wurden, die Nutzung des analytischen, kausalen Wissens dominieren und das deklarative Wissen eine sinnvolle Ergänzung darstellen. Das sehr vielfältige und detaillierte Wissen, z. B. über technische Systeme, erfordert leistungsstarke Wissensrepräsentationsformen.

In nichttechnischen Bereichen überwiegt z. Z. noch die Ausnutzung des deklarativen Wissens, d. h. die Ermittlung von Entscheidungsvorschlägen aus dem Erfahrungswissen des Experten durch ein Expertensystem. Sehr deutlich ist dies anhand der eingesetzten Systeme im Bereich der Medizin zu sehen [19]. Es kann jedoch auch in diesen Bereichen davon ausgegangen wer-

Tafel. Vor- und Nachteile logischer und prozeduraler Sprachkonzepte

Merkmal	Sprachkonzept	
	prozedural	logisch
Programmieraufwand	hoch	gering
Rechenaufwand	gering	hoch
Algorithmierbarkeit	notwendig	nicht notwendig
Echtzeitfähigkeit	gut	schlecht
Schnittstellen/Dialoggestaltung	sehr gut	schlecht
Lösung dynamischer Probleme	sehr gut	schlecht

den, daß das analytische, kausale Wissen über die Vorgänge und Prozesse immer mehr zunimmt.

Aus den genannten Gründen wird die Strategie der Expertensysteme als eine Möglichkeit zur Ableitung von Entscheidungsvorschlägen angesehen und somit als Teilkomponente in ein allgemeines Beratungssystem eingegliedert.

Eine breite praktische Anwendung mit ausweisbaren ökonomischen Effekten von Beratungssystemen ist nur zu erwarten, wenn eine Auswahl der Entwurfsstrategien unter Beachtung des vorhandenen Wissens erfolgt.

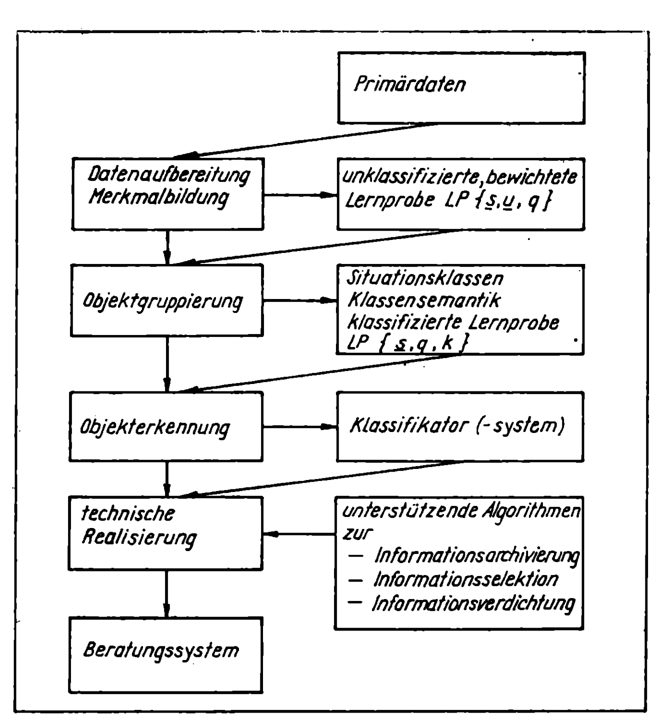


Bild 7. Entwurfsetappen eines Beratungssystems unter Verwendung der Methoden der automatischen Klassifikation

Literatur

[1] *Wiener, N.:* Kybernetik. Düsseldorf/Wien: ECON-Verlag 1963.
[2] *Reinisch, K.:* Systemanalyse und Steuerung komplexer Prozesse: Probleme, Lösungswege, industrielle und nichtindustrielle Anwendungen. msr, Berlin 29 (1986) 5, S. 195–207.
[3] *Zypkin, Ja. S.:* Grundlagen der Theorie lernender Systeme. Berlin: VEB Verlag Technik 1971.
[4] *Klix, F.:* Kybernetische Analysen geistiger Prozesse. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften 1968.
[5] *Wernstedt, J.:* Methoden und Erfahrungen zur Prozeßsteuerung und Entscheidungsfindung durch den Menschen auf der Grundlage von Beratungs-/Expertensystemen. msr, Berlin 28 (1985) 7, S. 295–298.
[6] *Sydow, A.:* Objective-oriented decomposition of complex decision problems. Symposium: Systems Analysis and Simulation. Berlin 1985.
[7] *Rasmussen, J.; Goodstein, L. P.:* Decision Support in Suppervisory Control. 2. IFAC-Symposium on Analysis, Design and Evaluation of Man-Machine-Systems. Varese/Italien 1985.
[8] *Brack, G.; Sokollik, F.:* Aufgaben der technischen Kybernetik bei der operativen Lenkung der Produktion. msr, Berlin 22 (1979) 11, S. 604–608.
[9] *Wernstedt, J.:* Zum Entwurf und Einsatz von Beratungseinheiten bei der operativen Steuerung von Prozessen durch den Menschen. msr, Berlin 24 (1981) 9, S. 482–486.
[10] *Wernstedt, J.:* Zum Einsatz von Beratungs-/Expertensystemen zur Lösung kybernetischer Probleme. msr, Berlin 29 (1986) 8, S. 349–353.
[11] *Grauer, M.:* A Dynamic Interactive Decision Analysis and Support System (DIDASS) – User's Guide. Working Paper WP 83–60, IIASA, Laxenburg (Wien).
[12] *Grauer, M.; Wierzbicki, A. P.:* Interactive Decision Analysis. Berlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag 1984.
[13] *Kraiss, K. F.:* Kooperation mit Rechnern in Lenk- und Leitsystemen. rt-Wissenschaftliche Originalarbeit 023/79.
[14] *Kraiss K. F.* Fahrzeug-und Prozeßführung. Berlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag 1985.
[15] *Frlichtenicht, H. W.; Kippe, J.:* Expertensysteme und ihre Einsatzmöglichkeiten. FhG-Berichte 2-83, S. 34–39.
[16] *Horn, W.:* Expertensysteme (Funktionen und Systeme). Universität Wien, Institut für Medizinische Kybernetik, Bericht 83–01.
[17] *Hess, G.:* Künstliche Intelligenz und Expertensysteme. atp 27 (1985) 1, S. 25–32.
[18] *Alder, H.:* Evaluation eines Expert-System-Tools für die Prozeßleittechnik. Studie: Alusnisse/ETH Zürich 1986.
[19] *Savory, S.:* Expertensysteme. München/Wien: R. Oldenbourg Verlag 1987.
[20] *Johannson, G.:* Überwachungs- und Entscheidungsverhalten des Menschen in Mensch-Maschine-Systemen. Bericht Nr. 44, Forschungsinstitut für Anthropotechnik, Werthhoren 1979.
[21] *Böhme, D.:* Ein Beitrag zur Steuerung und operativen Führung von Prozessen mittels Klassifikationsverfahren. Dissertation A, TH Ilmenau 1985.
[22] *Zeigler, B. P.:* Knowledge representation from Newton to Minsky and beyond. Eighth European Meeting on Cybernetics and Systems Research. Wien 1986.
[23] *Ester, J.:* Dialogverfahren als wichtiges Hilfsmittel zur Lösung mehrkriterialer Optimierungsaufgaben. Dissertation B, TH Karl-Marx-Stadt 1979.
[24] *Ester, J.:* Systemanalyse und mehrkriterielle Entscheidungen. Berlin: VEB Verlag Technik 1987.
[25] *Peschel, M.:* Ingenieurtechnische Entscheidungen. Berlin: VEB Verlag Technik 1980.
[26] *Sokollik, F.:* Steuerungsprobleme bei der operativen Lenkung der Produktion. Dissertation B, TH „Carl Schorlemmer" Leuna-Merseburg 1981.
[27] *Wutke, B.:* Beiträge zur Systemanalyse, Optimierung und Koordination bei der hierarchischen Steuerung/Entscheidungsfindung in komplexen Systemen. Dissertation B, TH Ilmenau 1983.
[28] *Lipp, H.-P.:* Anwendung einer unscharfen Steuerung zur operativen Produktionsführung einer Zellstoffabrik. Dissertation A, TH Karl-Marx-Stadt 1985.
[29] *Busch, H.-J.; Engelien, M.; Stahn, H.:* Algorithmisches System Entscheidungstabellentechnik. Berlin: Akademie-Verlag 1981.
[30] *Raiffa, H.:* Einführung in die Entscheidungstheorie. München/Wien: R. Oldenbourg Verlag 1973.
[31] *Bocklisch, S. F.:* Prozeßanalyse mit unscharfen Verfahren. Berlin: VEB Verlag Technik 1987.
[32] *Larsen, P. M.:* Industrial applications of fuzzy logic control. Int. J. Man-Machine Studies (1980) 12, S. 3–10.
[33] *King, P. J.; Mamdani, E. H.:* The application of fuzzy control systems to industrial processes. Automatica (1977) 5, S. 235–242.
[34] *Bieker, B.; Schmidt, G.:* Fuzzy Regelungen und linguistische Regelalgorithmen – eine kritische Bestandsaufnahme. at 33 (1985) 2, S. 45–52.
[35] *Bieker, B.:* Experten-Regelungen. atp 28 (1986) 8, S. 382–388.
[36] *Frlichtenicht, H. W.; Wittig, T.:* Ein Ansatz für Echtzeit-Expertensysteme. atp 29 (1987) 2, S. 78–82.
[37] *Müller, C.:* Vereinigung von zwei komplementären Wetten. Technische Rundschau 36/86, S. 108–111.
[38] *Brauer, W.; Radig, B.:* Wissensbasierende Systeme. Berlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag 1985.
[39] *Bühlmann, H.; Loeffel, H.; Nievergelt, E.:* Einführung in die Theorie und Praxis der Entscheidung bei Unsicherheit. Berlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag 1969.
[40] *Moore, R. L.; Hawkinson, L. B.; Levin, M.; Hofmann, A. G.; Matthews, B. L.; David, M. M.:* Expert systems methodology for real-time process control. 10th IFAC World Congress, München 1987. Vol. 6, pp. 274–281.

msr 8751

U. Petersohn; J. Pitschke; I. Rohner

Nutzung von PROLOG zur Implementierung von Expertensystemen

0. Einführung

Expertensysteme sind ein Teilgebiet der künstlichen Intelligenz. In den letzten zehn Jahren dominierten dabei Experimentiersysteme. Kommerzielle Anwendungen zeichnen sich jedoch in immer stärkerem Maße ab. Es wurden grundlegende Mechanismen entwickelt und getestet. Dabei sind zwei Grundrichtungen vorherrschend:

- Produktionsregelsysteme
- logische Programmierung.

Beide Richtungen weisen eine Vielzahl von Gemeinsamkeiten auf. In diesem Beitrag werden einige Grundbausteine zur Konstruktion von Expertensystemen diskutiert. Dazu wird die logische Programmierung auf der Basis von micro-PROLOG [1] genutzt, weil

- ein Expertensystem ein Spezialfall des Problemlösens mit spezifischem Wissen zu einem Fachgebiet ist
- die Wissensrepräsentation in der logischen Programmierung einfach ist
- die logische Programmierung sich gut für Problemlösen eignet, wenn das fachspezifische Wissen in einer geeigneten Menge von PROLOG-Regeln kodiert wird
- mittels Metaprogrammierung andere als die in PROLOG standardmäßig vorhandenen Inferenzmechanismen implementierbar sind.

Auf dieser Basis ist bereits ein Rapid Prototyping möglich. Dies ist wesentlich, da i. allg. Extraktion, Aufbereitung und Repräsentation von Fachwissen einen längeren Zeitraum in Anspruch nehmen.
Dem Ausbau eines geeigneten Prototyps zu Anwendungslösungen auf leistungsfähigen PC steht dann nichts im Wege.

1. Was ist ein Expertensystem?

Ein Expertensystem ist ein wissensbasiertes System, das zur Lösung von Aufgaben eingesetzt wird, deren Beherrschung Spezialkenntnisse, d. h. Kenntnisse eines Experten, erfordert. Mit anderen Worten: Expertensysteme sind in der Lage, große Wissensbasen (auch mit vagem und heterogenem Wissen) zu repräsentieren, Inferenzen auszuführen und diese einem Nutzer als Problemlösung bereitzustellen. Expertensysteme sind in der Lage, Lösungen zu begründen und zu bewerten.
Charakteristische Merkmale von Expertensystemen sind [2]:

- Fähigkeit zur Problemlösung/Inferenzausführung als Kern der Wissensbereitstellung, d. h. zur Gewinnung von neuem Wissen aus bereits abgeleitetem oder explizit gespeichertem Wissen
- Erklärungs- und Bewertungsfähigkeit
- nutzerfreundliche, komfortable Dialogmöglichkeiten mit dem System
- Anwendungsbezug (Einsatz für spezielle, hinreichend komplexe Aufgaben, zu deren Lösung Spezialkenntnisse erforderlich sind)
- Fähigkeit zum Wissenserwerb.

Nicht jedes dieser Charakteristika muß voll ausgeprägt sein, sollte jedoch in Grundansätzen vorhanden sein. Das Bild zeigt

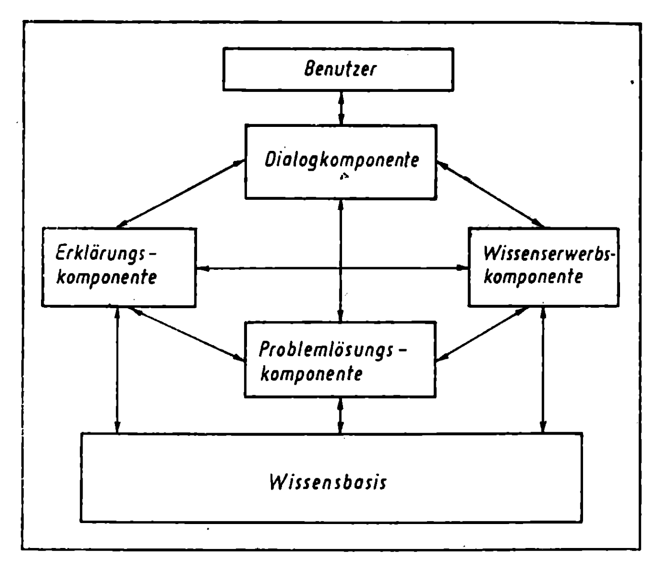


Bild. Grundstruktur eines Expertensystems

die Grundstruktur eines Expertensystems. Im folgenden sollen die Funktionen der einzelnen Komponenten kurz erläutert werden.

- *Wissensbasis*:
  Die Wissensbasis besteht aus der Fakten-, Regel- und Prozedurbasis. In der Wissensbasis ist Expertenwissen (d. h. Beschreibungen, Definitionen, Mengen, Relationen, Entscheidungsregeln, Restriktionen, Heuristiken, Hypothesen, unsichere Fakten) in bestimmten, rechnerangepaßten Formen kodiert.
- *Problemlösungskomponente*:
  Die Problemlösungskomponente hat die vom Nutzer gestellten Anfragen zu bearbeiten. Außer Algorithmen für die Anfrage-Interpretation besteht sie aus Algorithmen, die eine Mechanisierung menschlicher Problemlösungsverfahren darstellen. Diese Algorithmen werden auf die Wissensbasis angewendet. Es sind:
  - Inferenzmechanismen
  - Suchmechanismen
  - Beschreibungsmechanismen.

  Problemlösungskomponente und Wissensbasis bilden das Kernstück eines Expertensystems.
- *Dialogkomponente*:
  Die Dialogkomponente realisiert das Nutzerinterface für die Mensch-Maschine-Kommunikation mit dem speziellen Anwendungsgebiet angepaßter Technik (z. B. natürlichsprachliches Interface, Sensoranschluß, Grafik). Um die vielfältigen Möglichkeiten von Expertensystemen nutzbar zu machen, sollte das Nutzerinterface komfortable, flexible und vor allem einfach zu bedienende Dialogmöglichkeiten bieten.
- *Wissenserwerbskomponente*:
  Die Wissenserwerbskomponente hat die Aufgabe, die Erstellung und Modifikation der Wissensbasis zu unterstützen, um eine ständige Aktualität der Wissensbasis zu sichern.
- *Erklärungskomponente*:
  Die Erklärungskomponente soll den Verlauf des Problemlösungsprozesses festhalten und bei Bedarf dem Nutzer die von der Problemlösungskomponente gefundene Lösung verständlich machen. Das kann auf folgende Art und Weise geschehen:
  - durch Protokollierung des Wissens, das zur Lösung führte
  - durch Erläuterung der zur Problemlösung benutzten Algorithmen
  - durch Erklärung von Begriffen.

Dozent Dr. sc. techn. *Uwe Petersohn* (39) studierte ab 1966 an der Sektion Informationsverarbeitung der TU Dresden, dem sich bis 1973 dort ein Forschungsstudium anschloß. 1973 Promotion A. Von 1974 bis 1982 an der gleichen Sektion wissenschaftlicher Assistent, 1981 Promotion B. Von 1982 bis 1986 Gruppenleiter Softwareprojektierung im VEB Robotron-Elektronik Dresden. 1986 Berufung zum Hochschuldozenten für Wissensverarbeitung im WB Angewandte Informatik des Informatik-Zentrums der TU Dresden.

Dipl.-Ing. *Jürgen Pitschke* (24) studierte von 1982 bis 1987 an der Sektion Informationsverarbeitung der TU Dresden. Seit 1987 Forschungsstudent im WB Angewandte Informatik des Informatik-Zentrums der TU Dresden.

Dipl.-Ing. *Ingo Rohner* (26) studierte von 1981 bis 1985 an der Sektion Informationsverarbeitung der TU Dresden. Seit 1985 dort wissenschaftlicher Assistent, jetzt im WB Angewandte Informatik des Informatik-Zentrums.

2. Beispiel: Ein einfaches Expertensystem

Wie im Abschn. 1. kurz erklärt wurde, werden Expertensysteme generell in eine Wissensbasis und eine Inferenzmaschine zerlegt. Diese Sicht soll jetzt umgesetzt werden in das logische Programmierparadigma:

- Die Wissensbasis ist eine Menge von Klauseln.
- Der PROLOG-Interpreter beinhaltet die Schlußfolgerungskomponente.

Die neue Qualität wissensverarbeitender Systeme wird u. a. durch folgende Merkmale gekennzeichnet:

- Umfangreiche Informationsbestände/Wissensbestände werden über Trial-and-error-Verfahren systematisch durchmustert und ausgewertet, um Schlußfolgerungen abzuleiten.
- Der Wissensbestand ist in einer Wissensrepräsentationsform abgelegt, die unproblematisch Wissenserweiterungen und -modifikationen zuläßt, ohne daß Eingriffe in das System erforderlich werden.

Nun wird das folgende einfache Beispiel eines Expertensystems (nach [3] und [4]) betrachtet.
Das Problem besteht in der Bestimmung der chemischen Zusammensetzung einer unbekannten Flüssigkeit. Die Wissensbasis enthält 8 fachspezifische Regeln. Im weiteren wird speziell die Notation von micro-PROLOG [1] verwendet. Die Ausführung von Schlußfolgerungen erfolgt durch Aktivierung des micro-PROLOG-Interpreters.

```
((chem_Verbindung X Schwefelsaeure)                R1
  (Analyse X Schwefelsalz_Test positiv))
((chem_Verbindung X Benzin)                        R2
  (Fluessigkeitstyp X Oel)
  (Analyse X Geruch Benzin))
((chem_Verbindung X Dieseloel)                     R3
  (Fluessigkeitstyp X Oel)
  (Analyse X Geruch Oel))
((chem_Verbindung X Essigsaeure)                   R4
  (Fluessigkeitstyp X Saeure)
  (Analyse X Geruch Weinessig))
((chem_Verbindung X Salzsaeure)                    R5
  (Fluessigkeitstyp X Saeure)
  (Analyse X Geruch stechend))
((Fluessigkeitstyp X Base)                         R6
  (Analyse X Loeslichkeit hoch)
  (Analyse X PH_Wert Y)
  (LESS 8 Y))
((Fluessigkeitstyp X Saeure)                       R7
  (Analyse X Loeslichkeit hoch)
  (LESS Y 6))
((Fluessigkeitstyp X Oel)                          R8
  (Analyse X Loeslichkeit gering)
  (Analyse X PH_Wert Y)
  (LESS Y 9)
  (LESS 5 Y))
```

Die Regel R2 ist zum Beispiel folgendermaßen zu interpretieren:

> IF der Fluessigkeitstyp der Probe Oel ist &
> der Geruch der Probe Benzin ist
> THEN ist die chemische Verbindung Benzin.

Zur Bestimmung des Flüssigkeitstyps der Probe kommt R8 zur Anwendung, d. h., allgemein wird die Bestimmung der Lösung über eine Kette von Inferenzen erreicht.
Man sieht sofort, daß die Wissensbasis unkompliziert erweiterbar ist.
Wenn man nun Fakten bezüglich einer unbekannten Flüssigkeit dieser Wissensbasis hinzufügt, kann die Zusammensetzung der unbekannten Flüssigkeit bestimmt werden. Zum Beispiel sei in einer Analyse ermittelt worden:

```
((Analyse Probe 1 Loeslichkeit gering))
((Analyse Probe 1 PH_Wert 6))
((Analyse Probe 1 Geruch Oel))
((Analyse Probe 2 Schwefelsalz_Test positiv)).
```

Mit der Anfrage

```
?((chem_Verbindung Probe1 X) (PP X))
```

erhält man die Antwort „Dieseloel".
Klassische Expertensysteme der 1. Generation, insbesondere solche für Diagnose und Dateninterpretation, entsprechen diesem Schema.
Derartige Expertensysteme sind oft auch in anderen Sprachen implementiert. PROLOG unterstützt aber die Wissensrepräsentation und Wissensverarbeitung direkt.

3. Nutzerinterface

Eine sehr wichtige Komponente für die effektive Arbeit mit einem Expertensystem und die Akzeptanz durch die Nutzer ist die Dialogkomponente, das Nutzerinterface. Die Schaffung eines Nutzerinterfaces ist notwendig, da die Syntax von micro-PROLOG in keiner Weise nutzerfreundlich ist und dadurch die Kommunikation mit einem in micro-PROLOG implementierten System erschwert.

Die Aufgaben eines Nutzerinterfaces sind:

- Aufnahme von Informationen des Nutzers (Input)
- definierte Reaktion auf Nutzerinformationen
- Ausgabe „intelligenter" Antworten an den Nutzer.

Neben Nutzerinterfaces, die vom Nutzer gute Kenntnisse von PROLOG erfordern (z. B. SIMPLE), werden in der Literatur folgende Möglichkeiten von Nutzerinterfaces genannt:

- grafische Nutzerinterfaces
- menügesteuerte Nutzerinterfaces
- natürlichsprachliche Nutzerinterfaces
- Kombinationen (z. B. menügesteuerte graphische Nutzerinterfaces).

Sowohl für die bisher übliche 8- als auch für die 16-bit-Technik bieten sich menügesteuerte Nutzerinterfaces an. Andere Argumente, die für die Nutzung der Menütechnik sprechen, sind:

- der Nutzer benötigt nur geringe Kenntnisse des Betriebssystems und der Sprache PROLOG
- die Nutzung der Modultechnik ist möglich, dadurch sind auch sehr komplexe Lösungen realisierbar.

Die Implementierung eines menügesteuerten Nutzerinterfaces geht nicht über bekannte Lösungen hinaus. Durch die Ausnutzung der neuen Möglichkeiten von micro-PROLOG läßt sich ein System mit menügesteuertem Nutzerinterface schneller implementieren und mit mehr „Intelligenz" ausstatten. Bei der Umstellung auf weiterentwickelte Technik kann man dann auf diesen Lösungen aufbauen.
Um die obengenannten Funktionen eines Nutzerinterfaces zu realisieren, ist es zweckmäßig, neben den Systemprädikaten Nutzerprädikate für die Bildschirmsteuerung, für die Gestaltung der Menübilder und Prädikate, die häufig genutzt werden, zu definieren, z. B.:

- Prädikate für die Kursorpositionierung
- Prädikate für das Senden von Steuerzeichen
- Prädikate für die Ausgabe von Listen
- Prädikate für die formatierte Ausgabe

usw.
Diese Prädikate faßt man zweckmäßigerweise in einem Modul für die Bildschirmsteuerung zusammen [5]. Mit den genannten Grundfunktionen können weitere Prädikate zur Gestaltung nutzerfreundlicher Menübilder definiert werden.
Durch das Built-In-Prädikat „?" ist es jederzeit möglich, die in der Wissensbasis gespeicherten Informationen zu nutzen. Für den ungeübten Nutzer ist das jedoch schwer und außerdem für sich ständig wiederholende komplexe Anfragen ziemlich aufwendig. Auch aus diesem Grund sind menügesteuerte Dialogkomponenten günstig. Dabei werden dann nur vordefinierte Zielklauseln aufgerufen. Diese Zielklauseln erlauben Anfragen bezüglich der Existenz, der Eigenschaften und der Beziehungen von Objekten.
Zur Definition solcher Zielklauseln ist es zweckmäßig, häufig wiederkehrende Prädikate in Form von Standardregeln [5] zu benutzen.

Die Nutzung von Relationen als speziell zugeschnittene Nutzerschnittstelle zum Expertensystem erlaubt dem Nutzer, mit den für seine Anwendungen relevanten Begriffen auf beliebigem Abstraktionsniveau zu operieren.

4. Erklärungskomponente

Zur Struktur von Expertensystemen gehört eine Erklärungskomponente. Die Notwendigkeit einer Erklärungskomponente ist durch folgende Fakten begründet:

- Expertensysteme werden für komplexe Aufgaben eingesetzt.
- In Expertensystemen finden heuristische Methoden und vages Wissen Anwendung.
- Expertensysteme arbeiten teilweise nicht deterministisch.

Für den Nutzer eines Expertensystems ergeben sich daraus folgende Probleme:

- Es ist kaum möglich, den vom System gefundenen Lösungsweg nachzuvollziehen. Es entsteht ein Mißtrauen gegen gefundene Lösungen.
- Der Nutzer kann unter Umständen mit gefundenen Lösungen oder Fragen des Systems nach weiteren Informationen für die Fortsetzung der Problemlösung nichts anfangen, da ihm Begriffe oder Gesetze unklar sind (d. h., da ihm Spezialwissen fehlt) oder er nicht weiß, welche Information das System zur Problemlösung von ihm benötigt (große Problemräume!).

Dementsprechend soll eine Erklärungskomponente folgende Funktionen erfüllen [6]:

(1) Die Erklärungskomponente soll die Bedeutung der verwendeten Begriffe klären (zum Beispiel durch Definition).
(2) Die Erklärungskomponente soll Vorgänge oder Strukturen erläutern.
(3) Die Erklärungskomponente soll durch das Darlegen von Gründen, Ursachen, Gesetzen oder ähnlichem Lösungswege aufzeigen.

In [6] werden diese Arten der Erklärung als

(1) interpretierende
(2) beschreibende
(3) begründende

Erklärung bezeichnet.
Bei der praktischen Realisierung einer Erklärungskomponente sind die Arten der Erklärung oft nicht klar zu trennen. (1) und (2) werden bisher durch HELP-Funktionen realisiert. Dazu ist es notwendig, Definitionen und Erklärungen von Begriffen als Teil der Wissensbasis zu speichern. Diese Definitionen können z. B. separat auf externen Speichermedien verwaltet werden. Weiterhin sind Mechanismen notwendig, die einen effektiven Zugriff zu diesen Informationen und deren übersichtliche Darstellung auf dem Bildschirm realisieren.
Für (3) ist es notwendig, den Schlußweg zu verfolgen und dem Nutzer aufzuzeigen. Eine einfache Erklärungskomponente ist in [5] angegeben.
Für komfortable Erklärungskomponenten sind viele Probleme zu lösen, z. B.:

- Welche Erklärung erwartet der Nutzer?
- Wie umfangreich sollte die Erklärung sein, um den Nutzer ausreichend zu informieren, ohne ihn mit überflüssigen oder bekannten Informationen zu konfrontieren?
- Es müssen effektive Möglichkeiten zur Protokollierung der angewandten Regeln gefunden werden. Das ist besonders bei nichtdeterministisch arbeitenden Expertensystemen wichtig, da es sonst nicht möglich ist, den Lösungsweg aufzuzeigen.

5. Einfache Systemarchitektur

Bei der Implementierung und Nutzung von Expertensystemen treten selbst schon bei relativ kleinen Systemen meist Speicherplatzprobleme auf. Wenn eine Zerlegung des Gesamtsystems in Teilsysteme möglich ist, kann eine Implementierung günstiger erfolgen. Diese Teilsysteme faßt man dann in Moduln zusammen, die bei Bedarf geladen und später wieder vernichtet bzw. ausgelagert werden. Besonders vorteilhaft erweist sich für die Implementierung eine Zerlegung in eine Baumstruktur. Wird das System als menügesteuertes System implementiert, ist die Baumstruktur sofort gegeben: Aus dem Hauptmenü sind Untermenüs auswählbar. Aus diesen sind wiederum Untermenüs oder Funktionen auswählbar. Es ist günstig, jeden Knoten des Baumes (jedes Menüs bzw. jede Funktion) als Modul zu implementieren. In den Moduln sind dann die Regeln für die Realisierung der entsprechenden Funktionen bzw. des Menüs enthalten.
Um eine relativ breite Anwendbarkeit zu sichern, empfiehlt es sich, die Faktenbasis ebenfalls in getrennten Dateien niederzulegen. Der Nutzer muß dann angeben, auf welche Faktenbasis die jeweilige Funktion angewendet werden soll.
Diese Strukturierung bietet folgende Vorteile:

- Die Moduln sind überschaubar.
- Es ist eine bequeme Änderbarkeit der Implementierung gegeben. Soll ein Modul geändert werden, so hat dies nur Auswirkungen auf die vorhergehenden und nachfolgenden Module. Da außerdem die Verbindung der Module nur über die Export- und Importliste erfolgt, sind die Module weitgehend unabhängig voneinander.
- Der Zugriff zu den Klauseln erfolgt bei PROLOG über Hashtabellen. Im Grundmodul sind diese Hashtabellen nicht verdichtbar. Das führt bei Nichtanwendung des Modulkonzepts zu einer erheblichen Speicherbelastung im Verlauf der Abarbeitung. Bei Nutzung des Modulkonzepts besteht die Möglichkeit, diese Hashtabellen mit dem Löschen des jeweiligen Moduls zu vernichten.

Auf dieser Basis muß ein Steuermodul implementiert werden, der das Nachladen und Vernichten der jeweiligen Module steuert. Der Steuermodul ist nicht mit dem Hauptmenü identisch. Da dieser Modul resident im Hauptspeicher ist, sollte er möglichst klein gehalten werden. Weiterhin ist es notwendig, in diesen Grundmodul die Bildschirmsteuer- und Standardregelmoduln aufzunehmen.
Ein Nachteil dieser Vorgehensweise ist, daß sich die Verarbeitungszeiten durch das Nachladen der einzelnen Module erhöhen.

6. Zur externen Verwaltung von Wissensbasen

Für praxisrelevante Anwendungen von Expertensystemen ist eine Verwaltung der Wissensbasis im Hauptspeicher nicht möglich, da dessen Größe zu gering ist. Das Auslagern von Fakten und Regeln auf externe Speicher und die Einbindung der externen Wissensbasis in das „backtracking" ist zur Zeit nicht befriedigend gelöst. Momentan zeichnen sich neben der Zerlegung der Wissensbasis (siehe Abschn. 5.) weitere 4 verschiedene Verfahren ab, mit denen versucht wird, das Problem zu lösen. Alle diese Verfahren entstanden, um die auf reine Hauptspeicherarbeit orientierten PROLOG-Interpreter in ihren Möglichkeiten zu erweitern. Das größte Problem ist in allen Fällen der Zeitfaktor.

(1) Programmierte Suche

Das einfachste Verfahren ist eine selbstprogrammierte Suche in externen Datenbeständen mit den Prädikaten SEEK und FREAD. Dieses Verfahren hat den Nachteil, daß entweder eine genaue Kenntnis des internen Dateiaufbaues vorhanden sein muß, um effektiv über SEEK zugreifen zu können, oder aber eine rein sequentielle Suche vorgenommen werden muß. Ein Beispiel ist die Nutzung von vorgefertigten REDABAS-Datenbanken aus micro-PROLOG heraus (einfaches Beispiel siehe [5]).

(2) Virtuelle Hauptspeichererweiterung

Die Arbeit mit einem virtuellen Hauptspeicher ermöglicht die Realisierung der Verwendung sehr großer Wissensbasen. Es gibt heute bereits Systeme, die einen virtuellen Speicher im Gigabytebereich bei Verwendung von Realspeichern im Megabytebereich realisieren. Die Vorgänge in der Verwaltung von virtuellen Speichern sind schon seit längerer Zeit sehr gut untersucht. Die Zeiteffizienz kann sehr gut sein. Der Systementwickler und der Anwender haben jedoch kaum Einfluß auf negative Verhaltensweisen des Systems, z. B. das sogenannte Seitenflattern. Ein Nachteil ist weiterhin, daß virtuelle Systeme meist nur einen Ordnungsbegriff für den Zugriff unterstützen.

(3) Nutzung relationaler Datenbanksysteme

Effektiv in den Zugriffen auf ausgewählte externe Datenbestände scheint die Nutzung der Möglichkeiten von Datenbanksystemen zu sein. Ein gutes relationales Datenbanksystem mit deskriptiver Sprache enthält eine automatische Optimierung, die besonders die vorhandenen Zugriffspfade nutzt. Die Zugriffspfade können in beliebiger Anzahl und Kombination definiert sein. Jedoch auch mit einer prozeduralen Datenbanksprache lassen sich bei sorgfältiger Programmierung gute Zeiteffekte erzielen. Die einfachste Art, ein Datenbanksystem zu nutzen, ist die Verwendung eines Built-in-Prädikates, das die Prozeßumschaltung zwischen PROLOG-Interpreter und Datenbanksystem realisiert. Eine Lösung für 8-bit-Technik wird in [7] angegeben. Die benötigte Zeit für die Prozeßumschaltung kann durch Verwendung eines Multitasksystems auf ein Minimum reduziert werden. Nachteilig in bezug auf den Programmieraufwand ist, daß jeder Datenbankzugriff vom Nutzer explizit angewiesen werden muß. Auch kann die Effektivität eines solchen Verfahrens nicht befriedigen, da bei jeder Prozeßumschaltung der Inferenzprozeß ruht.

(4) Mehrprozessorsysteme

Günstigere Effekte lassen sich mit der Nutzung eines Mehrprozessorsystems erzielen. Dies muß nicht notwendigerweise ein Rechner mit mehreren Prozessoren sein, sondern könnte auch durch ein lokales Netz realisiert werden. Bedingung für einen effektiven Zugriff ist eine vorausschauende Arbeitsweise. Das bedeutet, daß die Anforderungen an das Datenbanksystem zum frühestmöglichen Zeitpunkt abgesetzt werden. Dieser Zeitpunkt muß so liegen, daß schon bekannt ist, welche Daten benötigt werden, obwohl bis zu deren Verwendung noch andere Aufgaben zu erledigen sind, und so eine echte Parallelarbeit zwischen beiden Prozessen erfolgt.

Wenn es gelingt, die Organisation der Zugriffe auf das Datenbanksystem durch den PROLOG-Interpreter zu steuern, ist eine volle Integration der externen Datenbasis erreicht. Der Nutzer merkt dann nicht mehr, daß im Hintergrund ein Datenbanksystem genutzt wird und hat trotzdem die Wissensbasis vollständig für seine Arbeit zur Verfügung.

7. Metainterpreter

Es gibt Problemstellungen, bei denen die einfache Art der Produktionsregeln und Wissensrepräsentationsformen nicht ausreichend ist. Es braucht aber keine Beschränkung auf diese einfache Form der Verwendung von Produktionsregeln zu erfolgen. Zum Beispiel lassen sich

- „kompliziertere" (tiefgründigere) Regeln formulieren
- Metaregeln formulieren (Regeln, die die Abarbeitung von Regeln steuern)
- die Wissensbasen komplexer gestalten.

Für diese Vorgehensweise kann es zweckmäßig sein, die Inferenzmaschine als geeigneten Metainterpreter zu formulieren [4], um solche Merkmale wie Modularität und Erweiterbarkeit besser behandeln zu können. Ein einfaches Skelett eines Metainterpreters zeigt die Relation „solve" nach [4]. Jede Klausel wird formal als Liste betrachtet:

```
((solve ()))
((solve (NOT |X)) (solve X) / (FAIL))
((solve (NOT |X)))
((solve X) (SYS X) / X)
((solve X) (CL (X|Y)) (solve Y))
((solve (X|Y)) (solve X) (solve Y)).
```

Ein anderes Beispiel der Erweiterung des Metainterpreters wäre die Einbeziehung der Inferenzen mit Unsicherheit. Eine Beschreibung wird in [8] gegeben. Dort wird die Semantik von Unschärfe im Konzept der logischen Programmierung diskutiert. Der Metainterpreter berechnet dann den Evidenzfaktor bei der Konjunktion entsprechend den definierten Regeln seiner Fortpflanzung. Die Schlußweise wird realisiert, indem ein Schwellwert eingeführt wird. Liegt der Evidenzwert darunter, ist die Regel nicht anwendbar, mit anderen Worten: eine Zielklausel ist erfüllt, wenn der sich ergebende Evidenzfaktor über der Schranke liegt.

8. Erweiterte Systemarchitektur

Für praktisch nutzbare Expertensysteme bestehen weitere, über Metainterpreter und externe Verwaltung hinausgehende Aufgaben, z. B.:

- Gehobene Expertensysteme sollen möglichst mehrere Wissensrepräsentationsmethoden sowie verschiedene Such- und Ableitungsstrategien bieten, um eine breite Anwendbarkeit und eine hohe Effizienz zu sichern.
- Für die Implementierung guter Erklärungs- und Wissenserwerbskomponenten sind klar strukturierte Wissensbasen und Problemlösungskomponenten notwendig.
- Eine klare Strukturierung der einzelnen Komponenten macht sich auch für die Erweiterbarkeit und Modifizierbarkeit der Systeme positiv bemerkbar.

Für diese Aufgaben gibt es vielfältige Lösungsansätze, die sich wechselseitig durchdringen. Neben der Entwicklung spezieller Hardwaresysteme (z. B. LISP-Maschinen) oder verbesserter Basissoftware ist international ein Übergang zu komplexeren Systemarchitekturen erkennbar [4]. Diese Systemarchitekturen sind dadurch gekennzeichnet, daß eine Strukturierung der Wissensbasis und dementsprechend der Problemlösungskomponente vorgenommen wird. Die Strukturierung erfolgt nach der Funktion der Bestandteile der Wissensbasis im Problemlösungsprozeß:

(1) *Domänenwissen*: aufgabenspezifische Definitionen, Objektbeschreibungen ...
(2) *Methoden und Strategien*: allgemeine Ableitungsstrategien (z. B. backward-chaining) und aufgabenspezifische Aussagen über die Anwendung des Domänenwissens, heuristische Methoden ...
(3) *Planungswissen*: Festlegungen über die sequentiell auszuführenden Problemlösungsschritte (z. B. zuerst relevante Informationen erfragen, dann mit Forward-chaining-Ableitungsstrategie Aufgabe x lösen ...)

Analog ist die Problemlösungskomponente hierarchisch in drei Niveaus gegliedert:

(1) Domänenniveau
(2) Methodenniveau
(3) Planungsniveau.

Die Realisierung von (2) und (3) erfolgt i. allg. durch Implementierung von Metaregeln. Für die Implementierung von (3) wäre ein System wünschenswert, das neben den Möglichkeiten der logischen Programmierung auch über prozedurale Möglichkeiten verfügt. Es wird deutlich, daß die logische Programmierung nicht isoliert betrachtet werden kann.

Es ist notwendig, neben dem Domänenwissen auch die aufgabenspezifischen Problemlösungsmethoden von Experten und deren Vorgehen bei der Lösung zu erfassen, zu analysieren und in das System einzubringen.

Literatur

[1] *McCabe, F. G.; Clark, K. L.; Steel, B. D.:* micro-PROLOG 3.1. Programmer's Reference Manual. Logic Programming Associates LTD. 1984.
[2] *Appelrath, H.-J.:* Die Erweiterung von DB- und IR-Systemen zu wissensbasierten Systemen. Nachrichten für Dokumentation 36 (1985), S. 13ff.
[3] *Hayes-Roth, F.; Waterman, D.; Lenat, D.:* Building Expert Systems. Reading: Addison-Wesley 1983.
[4] *Sterling, L.:* Expert System = Knowledge + Meta-Interpreter. Rehovot 1984, CS 84–17.
[5] *Hans, U.; Petersohn, U.; Pitschke, J.:* Programmieren in micro-PROLOG. Lehrhefte „Ausbildung Informatik", TU Dresden 1987.
[6] *Sell, P. S.:* Expert Systems — A Practical Introduction. London: Macmillan Publishers LTD 1985.
[7] *Rohner, I.:* Zur Funktionsweise des BUILT-IN Prädikates EXECUTE. Interner Bericht, TU Dresden 1987.
[8] *Shapiro, E. Y.:* Logic Programs with Uncertainties: A Tool for Implementing Rule-Based Systems. Proc. IJCAI 8 (1983) pp. 529–532.

msr 9737

U. Fiedler; F. Baldeweg

Einsatz von Expertensystemen in der technischen Diagnostik

0. Einleitung

Technische Geräte und technologische Anlagen weisen einen stetig steigenden Komplexitätsgrad auf. Abweichungen vom Normalverhalten solcher Systeme sind in hohem Maße unerwünscht, da sie in der Regel mit materiellen Verlusten, z. T. sogar mit der Gefährdung des Lebens und der Gesundheit von Menschen verbunden sind. Leistungsfähige diagnostische Verfahren werden benötigt, um sowohl eine sichere und wirtschaftliche Betriebsführung komplexer technologischer Anlagen (z. B. Kraftwerke, chemische Großbetriebe) als auch die Einsatzbereitschaft hochwertiger technischer Geräte zu gewährleisten [1]. Dabei sind verschiedene Teilaufgaben zu lösen, z. B.:

1. Analyse möglicher Störungsschwerpunkte (Prophylaxe)
2. Erkennen von Störungen durch Erfassung und Bewertung von Zustandsparametern
3. Lokalisierung und Analyse von Störungen, Bestimmung von Ursachen und Folgen
4. Ermittlung und Auslösung von Maßnahmen zur Beseitigung der Störung bzw. Eingrenzung ihrer Auswirkungen.

Zur Lösung dieser Aufgaben wird Wissen benötigt, d. h. Vorschriften zum Gewinnen, Analysieren, Bewerten, Anwenden von Informationen über Objekte des betrachteten Gebietes sowie Merkmale und Relationen zwischen diesen Objekten selbst. Bisher waren die Problemlösungsprozesse in solchen wissensintensiven Gebieten dem Menschen mit seinen durch Ausbildung und Berufserfahrung erworbenen Kenntnissen allein vorbehalten bzw. es konnten nur einzelne Teilaufgaben automatisiert werden [2]. Mit sogenannten Expertensystemen wird das Ziel verfolgt, die spezifischen Fähigkeiten moderner Rechentechnik, z. B. Speicherung großer Datenmengen, Geschwindigkeit der Ausführung elementarer Rechenoperationen, Vermeidung subjektiver Schwächen des Menschen, mit Formen einer qualitativ höheren, „intelligenten" Informationsverarbeitung zu verbinden, wobei das Verhalten der Experten als Modell dient und vereinfacht in Mechanismen zur Wissensdarstellung und zur Problemlösung abgebildet wird [3] und [4].

Bevorzugte Anwendungsbereiche von Expertensystemen sind Probleme, für die gilt:

1. kein exakter Lösungsalgorithmus bekannt, durch Erfahrung gewonnenes Wissen bietet die einzige Möglichkeit, Entscheidungen zu treffen
2. Realisierung einer algorithmischen Lösung zu aufwendig, z. B. Zustandsanalyse bei 10^4 bis 10^5 Prozeßparametern in komplexen Anlagen
3. häufige Änderung erzielter Lösungen erforderlich, da neuere Erkenntnisse ständig eingearbeitet bzw. Modifikationen des Basissystems vorgenommen werden müssen.

1. Grundlagen von Expertensystemen

Typische Komponenten von Expertensystemen, die fallspezifisch einmal mehr und einmal weniger ausgebaut sein können, sind Wissensbasis, Problemlösungskomponente, Erklärungssystem, Wissensgewinnungsmodul und Dialogmodul [5].

Die Wissensbasis stellt den entscheidenden Teil eines Expertensystems dar. Ihr Inhalt bestimmt, welche Probleme gelöst werden können. Dabei ist die Verwendung von Wissen in einem informationellen System natürlich nicht neu. Vielmehr treten Besonderheiten hinsichtlich Darstellung und Nutzung des Wissens auf. Im allgemeinen wird zwischen deklarativen und prozeduralen Wissenskomponenten unterschieden. Deklaratives Wissen umfaßt Faktenwissen (charakteristische Merkmale von Objekten) und relationales Wissen (Beziehungen zwischen den Objekten struktureller oder klassifikatorischer Art). Prozedurales Wissen beschreibt z. B., wie sich Prozesse zeitlich entwickeln oder beeinflußt werden können, wie Merkmale von Objekten bestimmt oder verändert werden können.

Die am weitesten verbreitete Form der Darstellung von Wissen sind Produktionsregeln. In ihnen wird das Wissen in voneinander völlig unabhängigen Komponenten, die nur über eine globale Faktenbasis kommunizieren, definiert. Produktionsregeln bestehen aus Bedingungs- und Aktionsteil, z. B.:

```
IF     TURBINE 1 IST AUSGEFALLEN
OR     REAKTORABSCHALTSIGNAL LIEGT AN
THEN   ABSCHALTUNG AUSFUEHREN.
```

Der Bedingungsteil enthält eine logische Kombination von Fakten. Die Aussage im Aktionsteil ist erfüllt, wenn diese Kombination „wahr" ergibt. Auf diese Weise können Fakten abgeleitet bzw. Prozeduren aktiviert werden.

Objektorientierte Wissensdarstellung ist gekennzeichnet durch die Beschreibung physischer und informationeller Objekte mit Hilfe geordneter Merkmalsmengen und Restriktionen für den Gültigkeitsbereich von Merkmalswerten, z. B.:

```
Objekt:   PUMPE
Merkmal:  – TYP (Kolbenpumpe, Kreiselpumpe)
          – FOERDERMENGE (Integer)
          – BAUJAHR (Integer).
```

Den Merkmalen können neben möglichen Werten auch Regeln oder Prozeduren zugeordnet werden, mit deren Hilfe Werte bestimmt werden können. Netzstrukturen repräsentieren klassifikatorische und strukturelle Relationen zwischen den einzelnen Objekten. Weit verbreitet für diagnostische Aufgaben sind Klassenhierarchien (Taxonomien), die den Lösungsraum, d. h. die Menge möglicher Diagnosen, explizit in Baumform definieren.

Die begriffsorientierte Wissensdarstellung erhöht die Transparenz des implementierten Wissens und damit auch seine Änderbarkeit. Der Zugriff zu den einzelnen Komponenten erfolgt über diese Begriffe selbst, somit quasiassoziativ. Durch eine entsprechende Strukturierung der Wissensbasis ist es möglich, kontextabhängiges Problemlösen nachzubilden, indem die Gültigkeitsbedingungen der einzelnen Strukturelemente definiert werden.

Die Problemlösungskomponente steuert die Anwendung des Wissens. Sie bestimmt, welche Wissenskomponenten in einer gegebenen Situation anwendbar sind, wählt aus der Menge alternativer Möglichkeiten aus und realisiert die Anwendung des Wissens. Dabei handelt es sich bei den einzelnen Lösungsschritten — im Gegensatz zum algorithmischen Problemlösen — um logische Operationen.

Die Verarbeitung von Produktionsregeln kann in zwei verschiedenen Arbeitsmodi erfolgen:

1. Vorwärtsverkettung (forward chaining): Der Bedingungsteil der Regeln wird mit der aktuellen Datenbasis verglichen, um anwendbare Regeln zu finden. Die Aktivierung der Regeln erfolgt datengesteuert.
2. Rückwärtsverkettung (backward chaining): Ausgehend von einer Zielbeschreibung, z. B. einer möglichen Diagnose, werden jene Regeln gesucht, deren Schlußfolgerungsteil zu diesem Ziel paßt. Der Bedingungsteil der gefundenen Regeln liefert neue Ziele, die zu verfolgen sind, indem diese Bedingungen — z. B. durch Anwendung anderer Regeln — überprüft werden. Die Aktivierung der Regeln erfolgt zielgesteuert.

Das charakteristische Diagnoseverfahren bei objektorientierter Wissensdarstellung wird „establish-refine" genannt. Der Diagnoseprozeß beginnt mit der Untersuchung des allgemeinsten Stör-

---

Dr.-Ing. *Uwe Fiedler* (28) studierte von 1977 bis 1982 an der Sektion Informationsverarbeitung der TU Dresden. Danach dort bis 1985 Forschungsstudium. 1985 Promotion A. Seit 1985 wissenschaftlicher Mitarbeiter im Zentralinstitut für Kernforschung Rossendorf (ZfK) der AdW der DDR.

Prof. Dr. sc. nat. *Frank Baldeweg* (51) studierte von 1954 bis 1960 an der TH Dresden. Danach im Zentralinstitut für Kernforschung (ZfK) Rossendorf der AdW der DDR tätig. 1967 Promotion A, 1970 Promotion B. Seit 1974 nebenamtlicher Hochschullehrer. Von 1983 bis 1985 Direktor F/E des Kombinates Automatisierungsanlagenbau und Direktor des Instituts für Elektro-Anlagen Berlin. Seither wieder im ZfK Rossendorf.

falls, der dem Wurzelknoten der gegebenen Klassenhierarchie entspricht. Weitere Symptome werden einbezogen, um spezifischere Störungsklassen als Hypothesen aufzustellen, zu verifizieren und ggf. noch weiter zu verfeinern. Das nötige Wissen, um Hypothesen zu bestätigen bzw. zu verwerfen, ist lokal in jedem Knoten enthalten. Dabei werden in die Diagnose genau die Symptome einbezogen, die für den Fortgang der Diagnose relevant sind.

Das Ziel der Diagnose ist es, einen Blattknoten in der Klassenhierarchie zu finden, der durch die auftretenden Symptome bestätigt wird. Sobald eine Hypothese verworfen wird, brauchen ihre Spezialfälle nicht mehr untersucht zu werden. Assoziative Regeln, die Fakten direkt mit Elementen der Klassenhierarchie verknüpfen, können diesen Suchvorgang erheblich beschleunigen.

Erklärungen für gefundene Lösungen sind in doppelter Hinsicht wertvoll:

1. Angebotene Lösungen werden verteidigt.
2. Aufgetretene oder vermutete Fehler können untersucht werden.

Die einfachste Form der Erklärung ist die Beschreibung des Lösungsweges. Dieses „Tracen" ist relativ einfach zu realisieren, da es sich beim Problemlösungsverfahren um logisches Schließen handelt und somit jede ausgeführte Operation eine verständliche Bedeutung für sich allein hat. Gebräuchliche Anfragen an solche Erklärungssysteme sind:

WARUM hat das Expertensystem eine bestimmte Frage an den Nutzer gestellt, WIE ist es zu bestimmten Resultaten bzw. Zwischenergebnissen gelangt?

Um Wissen in einem Expertensystem nutzen zu können, muß es erst einmal von einem Experten des jeweiligen Fachgebietes gewonnen werden. Wünschenswert wäre eine direkte Übertragung des Wissens vom Experten zum Expertensystem oder sogar eine autonome Lernfähigkeit. In der Regel, dem Stand der Technik gemäß, sind jedoch sogenannte Wissensingenieure als Vermittler nötig. Sie bereiten durch Befragung gewonnenes Fachwissen entsprechend ihren Kenntnissen über die Möglichkeiten zur Wissensdarstellung und zum Problemlösen auf. Dieser Prozeß wurde in den letzten Jahren durch die Entwicklung sogenannter Expertensystem-Hüllen (auch Rahmensysteme, „leere" Expertensysteme genannt) erheblich vereinfacht. Entsprechend den Anforderungen bestimmter Aufgabenklassen sind alle Softwarekomponenten eines Expertensystems bereits implementiert. Zur Lösung einer speziellen Aufgabe muß nur noch das nötige Fachwissen gemäß den im Rahmensystem vorgeschriebenen Formalismen hinzugefügt werden.

Der Dialog zwischen Nutzer und Expertensystem gestaltet sich um so einfacher, je umfangreicher die Kenntnisse des Nutzers sind, d. h., je „mehr Experte" er selbst ist. Wenn der Nutzer den ablaufenden Problemlösungsvorgang gut versteht, kann er Fragen und Antworten des Expertensystems auch in Kurzfassung zuverlässig interpretieren. Er „konstruiert" automatisch den richtigen Kontext für die bruchstückhaft gegebenen Informationen. Dagegen ist es kaum möglich, eine geeignete Schnittstelle zwischen einem Expertensystem und einem völlig „naiven" Nutzer zu schaffen. Wenn es nicht möglich ist, die anstehenden Probleme autonom vom Expertensystem lösen zu lassen, müssen Entscheidungen hinsichtlich der Aufgabenverteilung und der Form des Dialogs zwischen Expertensystem und Bediener getroffen werden. Versuche, einen Dialog in natürlicher Sprache zu ermöglichen, haben gegenwärtig das Versuchsstadium noch nicht überschritten. Stand der Technik ist vielmehr eine flexible Kombination von menü- und kommandogesteuertem Dialog.

2. Anwendungsbeispiele

Die technische Diagnostik gehört zu jenen Gebieten, in denen der industrielle Einsatz von Expertensystemen am weitesten fortgeschritten ist. Führende Konzerne der Computer- und Elektronikbranche entwickeln seit einigen Jahren Expertensysteme für den Eigenbedarf. So befinden sich im Labor für „Künstliche Intelligenz" bei der Fa. *Hewlett Packard* mehrere Systeme in Arbeit [6] bis [8]:

1. Analyse von Soft-Errors, d. h. zufälligen, nicht reproduzierbaren Fehlern bei verschiedenen Systemkomponenten (Plattenlaufwerke, Magnetbandgeräte), um Hinweise auf notwendige Wartungsmaßnahmen zu gewinnen, damit unvorhergesehene Betriebsstörungen vermieden werden können
2. Untersuchung von Speicherauszügen (Dumps) zur Ermittlung der Ursache von Systemausfällen elektronischer Rechenanlagen
3. Diagnose von Hardware- und Softwarefehlern in Kommunikationssystemen.

Die Firma IBM hat ein Expertensystem für die On-line-Überwachung von Computersystemen installiert, das die gewöhnlich an das Bedienpersonal ausgegebenen Fehlernachrichten automatisch analysiert und damit einen Beitrag leistet, die Verfügbarkeit von Großrechenanlagen zu erhöhen [9].

In Kernforschungseinrichtungen der UdSSR, der USA und Frankreichs wurden verschiedene Expertensysteme für die Prozeßdiagnostik und damit zur Erhöhung der nuklearen Sicherheit implementiert. Spezielle Aufgabenschwerpunkte stellen die Online-Störungsanalyse, d. h. Bestimmung von Ursachen und Folgen aufgetretener Abweichungen vom normalen Betriebsablauf, die Therapiesteuerung (Synthese eines Aktionsplanes zur Behebung von Störungen) und die Alarmbehandlung (Reduktion der Quantität der an das Wartenpersonal ausgegebenen Informationen durch umfangreiche Vorverarbeitung) dar [2] und [10].

In Zusammenarbeit mehrerer BRD-Autofirmen entstand ein Expertensystem, das gleichermaßen subjektive Beobachtungen eines Prüfers und automatisch erfaßte Meßdaten einbezieht, um PKW-Motoren zu diagnostizieren [11]. Industriell erprobt wurde ebenfalls eine Entwicklung der Fa. *Bell* (USA) zur Diagnose von Telefonleitungen. Die Betriebsprotokolle werden in lastarmen Zeiten analysiert, um detaillierte Reparaturhinweise zu gewinnen [12].

Auf der CeBIT-Messe 1987 in Hannover/BRD wurden neben einer breiten Palette an Systemsoftware zur Entwicklung von Expertensystemen auch verschiedene Anwendungslösungen vorgestellt, darunter ein an der Universität Hagen/BRD entwickeltes System zur Diagnose von Stromnetzen [13].

3. Beispiel zur Reaktordiagnostik

Die Schadensfrüherkennung hat entscheidenden Einfluß auf die technische Sicherheit von Kernkraftwerken. Schlußfolgerungen über interne Vorgänge in der Reaktoranlage können jedoch nur indirekt über extern verfügbare Signale gewonnen werden, z. B. Neutronenflußschwankungen, Beschleunigungs- und Körperschall sowie Druck- und Durchflußmessungen, weil viele Komponenten der Anlage einer regelmäßigen Inspektion nicht zugänglich sind. Problematisch ist die Interpretation der verfügbaren Informationen, da die Zusammenhänge zwischen auslösenden Prozessen und den mit stochastischen Anteilen behafteten Reaktorsignalen sehr komplex sind. Exakte algorithmische Lösungen sind kaum möglich. Die Reaktordiagnostiker nutzen ihre reichhaltigen Berufserfahrungen, z. B. hinsichtlich Wahrscheinlichkeiten von Störungsursachen, Entscheidungsfähigkeit und Aufwand bestimmter Testprozeduren, Glaubwürdigkeit der Interpretation gewonnener Symptommuster, um mit optimalem Aufwand eine sichere Diagnose treffen zu können.

Erfahrungsgemäß gibt es im Kenntnisstand der verschiedenen Fachleute erhebliche Unterschiede. Expertensysteme stellen eine Möglichkeit dar, das Wissen der besten Experten weithin verfügbar zu machen. Das entwickelte Beispiel dient zur Unterstützung des Reaktorpersonals bei der Auswahl geeigneter Testprozeduren zur Bestimmung von Prozeßparametern, die in die Diagnose einbezogen werden sollen. Es wurde mit Hilfe des Rahmensystems ZKI-EXPERT implementiert. Während Problemlösungskomponente, Dialog- und Erklärungsmodul in diesem Rahmen bereits vollständig vorhanden sind, muß der Anwender noch das Wissen entsprechend vorgegebener Darstellungsformen hinzufügen. Die Wissensbasis eines mit ZKI-EXPERT entwickelten Expertensystems enthält 3 Sektionen: Hypothesen, Fakten und Regeln. Für alle Komponenten wird sowohl eine Kurzform (Mnemonik) als auch eine Langform angegeben, die einerseits für die interne Verarbeitung und andererseits für den Dialog mit dem Bediener benötigt werden.

a) *Hypothesen* sind Schlußfolgerungen, die vom System gezogen werden können. Dabei kann es sich sowohl um Diagnosen als

auch um Therapievorschläge handeln. Die Hypothesen bilden eine Klassenhierarchie, z. B.:

NEUF Abnormale Neutronenflußschwankungen
SIRE . Strömungsinduzierte Regelelementbewegung
ERRE . Erzwungene Regelelementbewegung
ERSI .. Anregendes Teil schwingt strömungsinduziert
ERME .. Regelelementbewegung durch mechanische Resonanz
SIED . Sieden
THIN . Transport von Inhomogenitäten.

Diese Klassenhierarchie steuert implizit die Problemlösung. Mit einer Ausgangshypothese beginnend, die entweder durch Initialfakten und Verkettung dieser Fakten mit einer Hypothese (datengesteuerte Inferenz) bzw. durch den Wurzelknoten der Klassenhierarchie festgelegt wird, versucht der „Establish-refine"-Algorithmus, die untersuchten Hypothesen zu bestätigen und ggf. nach spezifischeren Subhypothesen zu suchen. Die Klassenhierarchie definiert die Ziele, die durch Regeln mit Fakten verknüpft werden (zielorientierte Inferenz), um Entscheidungen bezüglich des Zutreffens der Hypothese fällen zu können. Zu untersuchende Hypothesen können weiterhin mit Hilfe sogenannter Hypothese/Hypothese-Regeln und „forward-chaining" ermittelt werden.

b) *Fakten* sind Beobachtungen, Testergebnisse oder andere bekannte Merkmale, die zum Ziehen von Schlußfolgerungen wichtig sind. Mögliche Merkmalswerte sind wahr, falsch, unbekannt oder numerische Werte. Entscheidungsfragen, auf die mit ja (wahr) oder nein (falsch) zu antworten ist, können zu Komplexen inhaltlich zusammengehörender Fragen zusammengefaßt werden.
Bei Fragen vom Typ „multiple Auswahl" hat der Bediener aus einer Liste von Möglichkeiten, z. B. allen denkbaren Werten eines Merkmals, genau eine auszuwählen. Dagegen sind bei der „Checkliste" alle Fragen zu beantworten, z. B.:

*Multiple Auswahl
Kohärenz zwischen verschiedenen Schallen:
KSAL alle Schalle untereinander kohärent
KSGR nicht alle, aber jeweils Gruppen dicht benachbarter Schalle kohärent
KSNO verschiedene Schalle nicht kohärent untereinander

*Checkliste
Kohärenz zwischen Schall und Incore-Neutronenfluß:
KSIE alle Schalle mit mindestens 1 Incore-Signal kohärent
KSIA alle Schalle mit allen Incore-Signalen kohärent
KSIN Schall an Rohren ausschließlich mit benachbarten Incore-Signalen kohärent.

c) *Regeln* stellen die logische Verbindung zwischen Fakten und Hypothesen dar. Fakt/Hypothese-Regeln definieren Assoziationen zwischen Fakten und einer Hypothese. Sind die Fakten bekannt, kann auf die Hypothese geschlossen werden, bzw. wird eine Hypothese untersucht, stellen die Fakten jene Fragen dar, die gestellt werden müssen, um die Hypothese zu verwerfen oder zu bestätigen. Hypothese/Hypothese-Regeln beschreiben — von weiteren Fakten abhängige — Assoziationen zwischen verschiedenen Hypothesen, wobei im folgenden Beispiel die verbale Form als Kommentar hinzugefügt wurde.

IF Neutronenflußschwankungen mit Resonanzen zwischen 0 und 20 Hz in Excore- und Incore-Signalen
AND Schallimpulse an SUS-Standrohren
AND Schall an einem ausgewählten Rohr mit mindestens einem Incore-Signal signifikant kohärent
AND alle Schalle untereinander kohärent
AND alle Schalle mit allen Incore-Signalen kohärent
THEN erzwungene RE-Bewegung
F(NIEC, T) & F(SSIY, T) & F(KSIE, T) & F(KSAL, T) & & F(KSIA, T) $\rightarrow$ H(ERRE, 1).

Die Realisierung einer ersten lauffähigen Variante dieses Expertensystems erwies sich aufgrund der Leistungsfähigkeit des verwendeten Entwurfssystems als sehr einfach. Eine besondere Stärke dieses „leeren" Expertensystems besteht in der Möglichkeit, heuristische Informationen, wie Testkosten, Fehlerwahrscheinlichkeiten und Glaubwürdigkeit logischer Schlußfolgerungen, zur Steuerung der Problemlösung einzubeziehen. Noch nicht vollständig befriedigte die erzielte Lösung hinsichtlich Bedienerfreundlichkeit der Dialogschnittstelle, Einbeziehung numerischer Prozeduren zur Bestimmung relevanter Symptome und Arbeitsgeschwindigkeit auf 16-bit-Mikrorechner. Deshalb erfolgt gegenwärtig eine Neuimplementation von RADEX (Rauschdiagnose-Expertensystem) als compilierbares PROLOG-Programm. Dessen ungeachtet muß die abgeschlossene Fassung als ein notwendiger Zwischenschritt betrachtet werden. Auf Grundlage einer schnellen, aufwandsarmen Prototyplösung erfolgte die Spezifizierung der Anforderungen an die gegenwärtig entwickelte, fortgeschrittene Variante.

Zusammenfassung und Schlußbetrachtungen

Für viele Aufgaben aus dem Bereich der technischen Diagnostik erweisen sich Expertensysteme als effektive Lösungsmöglichkeit, vor allem dank typischer Vorzüge dieser Technologie:

a) Transparenz der Wissensbasis durch explizite Darstellung des Wissens in z. T. modularen, symbolisch notierten Einheiten; Voraussetzung für leichte Änderbarkeit, die nötig ist, wenn neue Erkenntnisse berücksichtigt werden sollen
b) Fokussierung der Diagnose aufgrund heuristischer Informationen, wodurch der Aufwand für die Lösung des Problems reduziert wird
c) explizite Wissensdarstellung als Voraussetzung für eine anzustrebende automatische Konsistenzprüfung, um die logische Widerspruchsfreiheit der entwickelten Wissensbasis zu sichern, vor allem bei Einbeziehung des Wissens verschiedener Fachleute.

Die praktische Bedeutung dieser Technologie wird weiter rasch anwachsen, sobald es gelingt, Fortschritte auf einigen problematischen Gebieten zu erzielen, z. B. eine Effektivierung des Wissenserwerbs zu erreichen und die Bedienerfreundlichkeit der Handhabung solcher Systeme zu erhöhen. Zukünftig müssen auch die Fragen des kooperativen Problemlösens von verschiedenen Expertensystemen und die Nutzung von Wissen unterschiedlicher Abstraktionsstufen noch stärker beachtet werden. Heutige Expertensysteme beruhen im wesentlichen auf Erfahrungswissen. Es wird „oberflächlich", empirisch geschlußfolgert [14]. Daraus ergeben sich Grenzen bezüglich der Entscheidungs- und Erklärungsfähigkeit solcher Systeme. Weiterentwicklungen werden in verstärktem Maße Prozeßmodelle — sowohl in Form von Graphen als auch als exakte analytische Gleichungen — sowie in qualitativer Form ausgedrücktes „Tiefenwissen", d. h. Aussagen über Struktur und Verhaltensmodelle für die Strukturkomponenten des zu diagnostizierenden Systems, enthalten. Damit wird es möglich sein, Schlußfolgerungen über das Verhalten des Gesamtsystems automatisch aus dem Wissen über seinen Aufbau abzuleiten.

Literatur

[1] *Fiedler, U.; Baldeweg, F.:* Technische Diagnostik in komplexen Anlagen. Wissenschaft und Fortschritt 37 (1987) 2, S. 39–42.
[2] *Baldeweg, F.; Lindner, U.:* Rechnergestützte Analyse von Störungen. Berlin: Akademie-Verlag 1986.
[3] *Hayes-Roth, F.*, u. a.: Building expert systems. Reading/Massachusetts: Addison Wesley 1983.
[4] *Stefik, M.*, u. a.: The Organization of Expert Systems: A Tutorial. Artificial Intelligence 18 (1982) S. 135–175.
[5] *Bonnet, A.:* Artificial Intelligence: Promise and Performance. Englewood Cliffs: Prentice-Hall International 1985.
[6] *Wasmuth, D. B.; Richards, B. J.:* Predictive Support Anticipating Computer Hardware Failures. Hewlett-Packard Journal 37 (1986) 11, S. 30–33.
[7] *Slater, L. R.; Harrison, K. A.; Myles, C. M.:* AIDA: An Expert Assistant for Dump Readers. In [6], S. 34–41.
[8] *Button, B. T.; Young, R. M.; Ahart, D. M.:* A Troubleshooting Aid for Asynchronous Data Communication Links. In [6], S. 42–47.
[9] *Ennis, R. L.*, u. a.: A Continuous real-time expert system for computer operations. IBM Journal of Research and Development 30 (1986) 1, S. 14 to 28.
[10] *Nelson, W. R.:* REACTOR: an expert system for diagnosis and treatment of nuclear reactor accidents. Proc. AAAI, (1982), S. 296–301.
[11] *Premauer, T.:* IXMO — Ein Expertensystem zur Motorendiagnose in der Automobilindustrie. Innovationsgesellschaft für fortgeschrittene Produktionssysteme in der Fahrzeugindustrie. Berlin (West) 1985.
[12] *Manual, T.:* Has AI'time come at last? Electronics Week (1985) 4, S. 53 to 62.
[13] *Pfeiffer, T.:* Real existierende Expertensysteme. computertechnik (1987) 6, S. 82–89.
[14] *Wysotzki, F.:* Wissensverarbeitung — eine neue Qualität der Datenverarbeitung. GI-Mitteilungen (1986) 3/4, S. 1–7.

msr 8777

P. Otto; R. Puhlmann; D. Trippler; J. Wernstedt; S. Bergmann; E. Egelkraut; V. Parsiegla; V. Schmalfuß

PROFIS – ein Beratungs-/Expertensystem zur rechnergestützten Prozeßführung der Fertigung von integrierten Schaltkreisen

0. Einleitung und Zielstellung

Das Gesamtsystem PROFIS ist auf die Belange der Forschung, Entwicklung, Überleitung und Nutzung für innovative Mikroelektroniktechnologien zugeschnitten, die durch sehr dynamische und kreative Vorbereitungs- und Durchsetzungsphasen gekennzeichnet sind. Es dient der rechnergestützten Diagnose, Überwachung, Steuerung/Führung und Planung von Mengen- und Qualitätsparametern auf verschiedenen, dem Fertigungsprozeß von integrierten Schaltkreisen überlagerten Ebenen (Steuerebenen) einer Fertigungszelle, mit dem Ziel der effektiven Erprobung/Verfahrensentwicklung und Einführung neuer Technologien und Schaltkreistypen. Das Prozeßführungssystem PROFIS löst die oben genannten Aufgaben für die operative, taktische und strategische Ebene. Damit werden Führungsgrößen für die Prozeßsteuerungen (prozeßnahe Ebene), die die Einhaltung der von den übergeordneten Ebenen vorgegebenen Mengen- und Qualitätsparameter für die jeweilige Anlage (einschließlich der Transport-, Lager- und Meßsysteme) sichern, vom Prozeßführungssystem vorgegeben. Für die übergeordneten Ebenen wird das Konzept der rechnergestützten operativen Steuerung/Entscheidungsfindung auf der Grundlage von Beratungs-/Expertensystemen verwendet [1] bis [3]. Das Prozeßführungssystem PROFIS stellt ein Software-System dar, das in der Programmiersprache FORTRAN 77 realisiert und auf entsprechender Rechentechnik einer Fertigungszelle des VEB Mikroelektronik „Karl Marx" Erfurt implementiert und in den Routinebetrieb überführt wurde.

1. Kennzeichen des Fertigungsprozesses einer Zelle

Das Prozeßführungssystem PROFIS löst die im Abschn. 0. genannten Aufgaben für eine Fertigungszelle des Zyklus I, die durch folgende Merkmale gekennzeichnet ist:

- gleichzeitige Abarbeitung einer großen Anzahl von Technologievarianten
- große Anzahl von Einzelarbeitsgängen in jeder Technologievariante
- sehr hohe Anforderungen an das Fertigungsniveau, u. a. an Schichtdicken, Stegbreiten, Temperaturkonstanz, Medienqualität (Wasser, Luft usw.)
- sehr großer Informationsumfang (zur Postenbewegung, zu den technisch-physikalischen Parametern, der Testfeldparameter und aus den Funktionstests).

In der Mikroelektroniktechnologie basiert bisher eine sehr große Anzahl von Steuerungen auf sachgerechten verantwortungsvollen Entscheidungen des Menschen. Aus der Unsicherheit und Komplexität der zu steuernden Prozesse, die sich aus

- nicht prüfbaren und nicht gemessenen Störungen
- einer Vielzahl subjektiver und/oder ungenauer Informationen
- sehr differenzierten, jedoch theoretisch geringen Kenntnissen über die Lösung der Steuerungs-/Führungsaufgaben
- zeitvarianten Systemen und Teilsystemen sowohl hinsichtlich der jeweiligen Struktur als auch der Signale
- wesentlichen Informationen, die teilweise überhaupt nicht oder nur indirekt erfaßt und/oder nicht rechtzeitig bzw. gar nicht verfügbar werden

ergeben, sind deshalb Beratungs-/Expertensysteme, die den Menschen in das Konzept der Steuerung integrieren, die zweckmäßigste Steuerungsstrategie.

2. Gesamtkonzeption und Teilsysteme des Prozeßführungssystems PROFIS

Die Gesamtkonzeption des Prozeßführungssystems PROFIS ist für eine Fertigungszelle des Zyklus I entworfen worden, deren Grobstruktur im Bild 1 dargestellt ist [4] bis [7].
Die Struktur der Zelle wurde in die hierarchischen Ebenen: Teilschrittanlage, Teilschritt, Teilschrittkomplex und Fertigungszelle Zyklus I untergliedert.
Zur Lösung der Diagnose-, Überwachungs-, Steuerungs-, Führungs- und Planungsaufgaben durch den jeweiligen Leiter wurde das im Bild 2 dargestellte Gesamtkonzept für das Prozeßführungssystem entworfen. Es enthält folgende Elemente:

1. Datenbank PROFIS-KOMPAKT

Erfassung, Prüfung, Speicherung, Modifikation, Verdichtung, Transfer, Umstrukturierung und Sicherung von allen im Zyklus I anfallenden maschinell erfaßbaren Daten (Postenstand, Vormessen I, Vormessen II, Technologiestrukturdatei usw.)

2. Datenanalyse PROFIS-DATAN

Aufbereitung, Verdichtung, Verarbeitung und Darstellung von in Form von KOMPAKT-Dateien vorliegenden Daten (z. B. elementare statistische Methoden, Kumulationen, grafische Darstellungen)

3. Komplexanalysen PROFIS-KOMPAN

Durchführung von statistischen Komplexanalysen mit dem Ziel der Aufklärung innerer Zusammenhänge von Daten in Form von Signal- und Systemmodellen (z. B. Korrelations- und Regressionsanalyse, Clusteranalyse, Reihenfolgeanalyse, Diskriminanzanalyse, Varianzanalyse)

4. Durchlaufsteuerung PROFIS-DURST

Operative Durchlaufsteuerung und Entwurf von Plänen für die Postenbewegung über die Zeithorizonte Tage-Wochen-Monate-Jahre posten- und nichtpostenbezogen zur effektiven Nutzung aller Fonds mit dem Ziel der Minimierung der Wartezeit aller Posten aller Technologien über alle Teilschritte
(Steuergrößen sind u. a. Postenprioritäten und die Einsteuermenge neuer Posten für die jeweilige Technologievariante. Grundlage der Durchlaufsteuerung und der Planung sind Simulationsmodelle der Postenbewegung in den Fertigungen [8] bis [11])

Dr. sc. techn. *Peter Otto* (40) studierte von 1965 bis 1971 an der Fakultät für Automatisierung und Rechentechnik des Moskauer Energetischen Instituts. Von 1971 bis 1985 wissenschaftlicher Mitarbeiter im WB Automatische Steuerung der Sektion TBK der TH Ilmenau. 1978 Promotion A. Von 1985 bis 1987 Projektleiter des Prozeßführungssystems zur Herstellung integrierter Schaltkreise PROFIS im VEB Mikroelektronik „Karl Marx" Erfurt. Seit 1987 als Oberassistent wieder im WB Automatische Steuerung der Sektion TBK der TH Ilmenau. 1987 Promotion B.

Dipl.-Ing. *Rolfgerhard Puhlmann* (27) studierte von 1980 bis 1984 an der Sektion TBK der TH Ilmenau, derzeit dort Forschungsstudent im WB Automatische Steuerung.

Dr.-Ing. *Detlef Trippler* (27) studierte von 1978 bis 1983 Technische Kybernetik und Automatisierungstechnik an der TH Ilmenau. Von 1983 bis 1986 dort wissenschaftlicher Assistent an der Sektion TBK. Seit 1987 Entwicklungsingenieur für Lehre und Forschung an der TH Ilmenau. 1987 Promotion A.

Prof. Dr. sc. techn. *Jürgen Wernstedt* (47) wurde bereits auf S. 535 dieses Heftes vorgestellt.

Dr.-Ing. *Siegfried Bergmann* (44) studierte von 1961 bis 1967 Regelungstechnik und Technologie elektronischer Bauelemente an der TH Ilmenau. Von 1967 bis 1970 planmäßiger Aspirant an der Sektion TBK der TH Ilmenau. 1970 Promotion A. Seit 1970 im VEB Mikroelektronik „Karl Marx" Erfurt, derzeit als Abteilungsleiter Prozeßführung in Forschung und Entwicklung.

Dipl.-Math. *Erhard Egelkraut* (31) studierte von 1976 bis 1981 Mathematik an der Bergakademie Freiberg. Seit 1981 Entwicklungsingenieur im VEB Mikroelektronik „Karl Marx" Erfurt.

Dr.-Ing. *Volker Parsiegla* (34) studierte von 1974 bis 1979 Mathematik (Analysis) an der Friedrich-Schiller-Universität Jena (Abschluß als Dipl.-Math.). Von 1979 bis 1986 im VEB Mikroelektronik „Karl Marx" Erfurt tätig, dabei von 1982 bis 1985 außerplanmäßige Aspirantur an der Sektion TBK der TH Ilmenau. 1985 Promotion A. Seit 1986 wissenschaftlicher Assistent an der Pädagogischen Hochschule „Dr. Theodor Neubauer" Erfurt/Mühlhausen.

Dipl.-Math. *Volker Schmalfuß* (33) studierte von 1974 bis 1979 Mathematik an der Karl-Marx-Universität Leipzig. Seit 1979 Entwicklungsingenieur im VEB Mikroelektronik „Karl Marx" Erfurt.

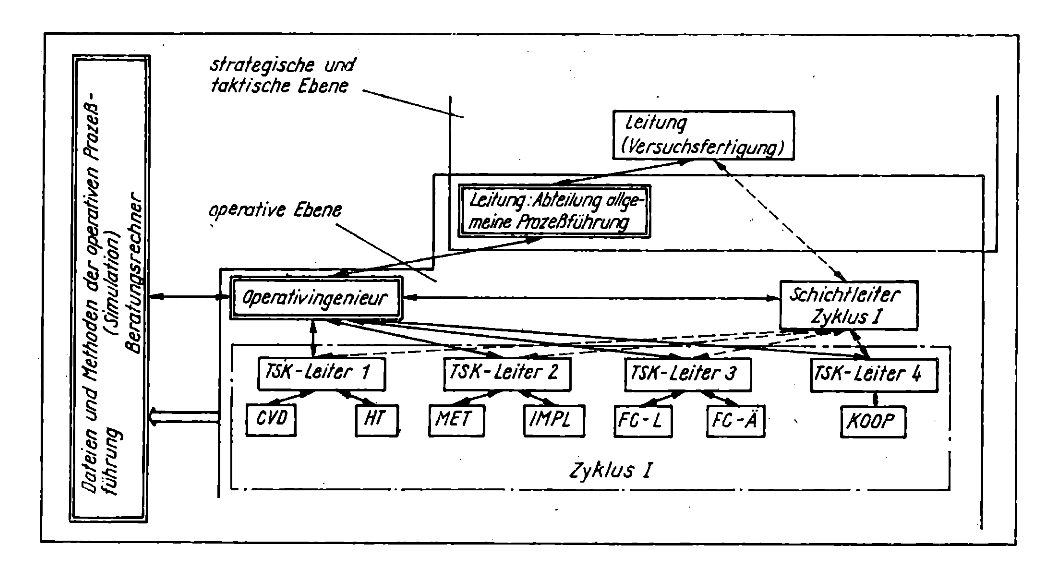


Bild 1. Struktur der operativen Prozeßführung in einer Zelle des VEB Mikroelektronik „Karl Marx" Erfurt

CVD CVD-Prozesse; MET Metallisierung; IMPL Implantation; HT Hochtemperatur; FC-L Fotochemie/Lack; FC-A Fotochemie/Ätzen; KOOP Kooperation

— — — vorhandene Leitungsstruktur; ——— Erweiterung bei rechnergestützter Prozeßführung

5. *Technologieorientierte Prozeßsimulation PROFIS-TEPRO*

Technologieorientierte Prozeßsimulation wesentlicher Teilschritte und Anlagen im Fertigungsabschnitt des Zyklus I wie Strukturierung, Implantation, Oxidation/Diffusion, [12] bis [14]

6. *Qualitätssteuerung PROFIS-QUALITÄT*

Ermöglicht Aussagen und Entscheidungsvorschläge zur Qualitätssteuerung im Zyklus I. Die Entscheidungssuche erfolgt über Iststandsanalysen und den Vergleich mit Expertenwissen auf der Grundlage des Aufbaus und der Veränderung von speziellen Wissensdateien bzw. auf der Grundlage der Ergebnisse von PROFIS-TEPRO

7. *Dialogführung PROFIS-EXPERT*

Alle bisher vorgestellten Teilkomponenten von PROFIS werden über PROFIS-EXPERT zu einem nutzerfreundlichen Gesamtsystem vereint. PROFIS-EXPERT dient der Unterstützung des Dialogs zwischen Mensch und Beratungs-/Expertensystem bei Entwurf und Nutzung von Entscheidungshilfen für die rechnergestützte Prozeßführung.

3. Methode der rechnergestützten operativen Prozeßführung mit Beratungs-/Expertensystemen

Prozesse, die durch die im Abschn. 1. dargestellten Eigenschaften gekennzeichnet sind, können weder vom Menschen allein, noch vollautomatisch geführt werden. Ein Ausweg besteht nur in der Kopplung der Erfahrungen des Menschen mit den Möglichkeiten technischer Hilfsmittel, insbesondere von Rechnern. Die Tätigkeit des Menschen wird dabei durch rechnergestützte Entscheidungsvorschläge oder -hilfen sowie eine ebenfalls rechnergestützte Kontrolle seiner Entscheidungen objektiviert.

Die Aufgaben des Entwurfs eines Systems zur rechnergestützten operativen Prozeßführung können entsprechend Bild 3 in drei Aufgabenbereiche untergliedert werden [15].

Durch die rechnergestützte operative Prozeßführung wird es außerdem möglich, den Menschen von zeitaufwendigen, ermüdenden Routinearbeiten zu befreien. Die Tätigkeitsmerkmale des Menschen wandeln sich zu anspruchsvolleren Aufgaben des Überwachens, Entscheidens, Problemlösens, Koordinierens und Planens. Voraussetzung dafür ist, daß der Mensch durch Verlagerung eines möglichst großen Teils seiner intellektuellen Aufgaben in das Beratungssystem von der Wissensverarbeitung entlastet wird.

Das Wissen kann dabei in zwei Kategorien eingeteilt werden, in prozedurales Wissen und deklaratives Wissen (Bild 4). Prozedurales Wissen ist durch eine Reihenfolge von Schritten charakterisiert, die sich durch Algorithmen bzw. Modelle in Form von Gleichungen ausdrücken lassen.

Auf der anderen Seite benutzt der Mensch deklaratives Wissen, d. h., er arbeitet mit Daten und Fakten sowie mit gewissen Regeln und Erfahrungen.

Hinsichtlich der Entscheidungsfindung können beim prozeduralen Wissen über entsprechende Entwurfsverfahren (Simulation, Optimierung usw.) Lösungen gefunden werden, die in bezug auf ein mathematisches Gütekriterium optimal sind. Beim deklarativen Wissen erfolgt die Entscheidungsfindung durch ein Expertensystem, das nicht unbedingt eine optimale Lösung anstrebt, weil dies zu kompliziert und zu aufwendig wäre. Es werden vielmehr günstige Lösungsansätze gesucht, die eine zufriedenstellende Lösung garantieren.

Im Ergebnis der Kopplung von Methoden der Verarbeitung von prozeduralem und deklarativem Wissen entstehen Software-Systeme, die in Verbindung mit entsprechender Rechentechnik als Beratungs-/Expertensysteme bezeichnet werden.

Im folgenden Abschnitt wird auf den Prozeß des Entwurfs von Entscheidungshilfen im Prozeßführungssystem PROFIS näher eingegangen.

4. Grundstruktur des Algorithmus der Entscheidungsfindung am Beispiel des Moduls PROFIS-DURST

Der Algorithmus zur Entscheidungsfindung bei der Durchlaufsteuerung ist im Bild 5 dargestellt.

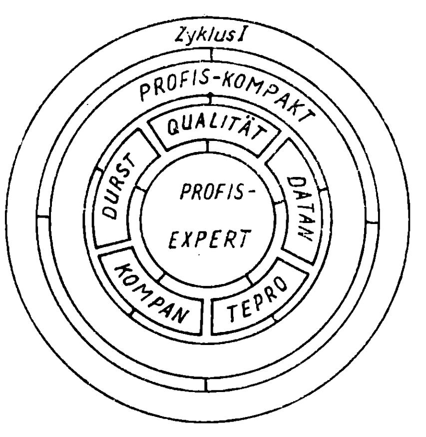
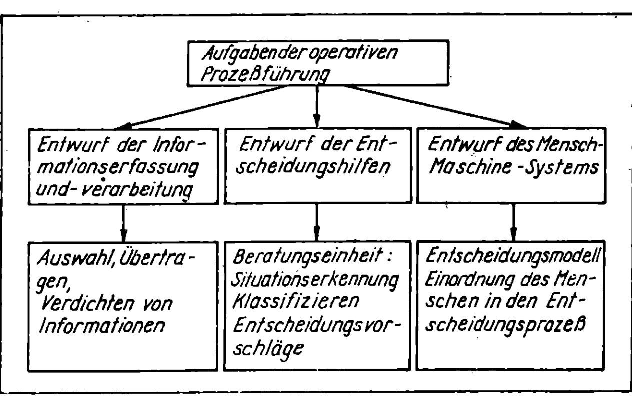


Bild 2. Gesamtkonzept PROFIS

Bild 3. Ingenieurtechnische Aufgaben bei der rechnergestützten operativen Prozeßführung



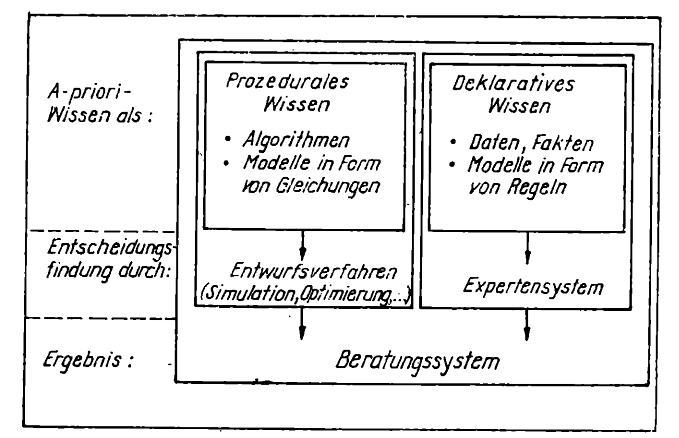


Bild 4. Entwurfsgrundlagen für Beratungssysteme

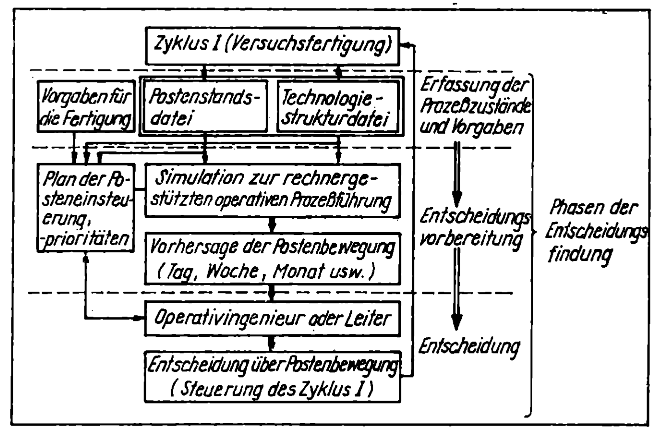


Bild 5. Algorithmus zur Entscheidungsfindung bei der Prozeßführung am Beispiel der Durchlaufsteuerung

Durch den Operativingenieur oder Leiter wird im Ergebnis des simulierten Prozeßverlaufes der letztendlich im Prozeß wirksame Plan der Postenbewegung festgelegt, der dann als Richtlinie zur Gestaltung des Prozeßverlaufes dient.
Bei zu großen Abweichungen des vorhergesagten zum realen Prozeßverlauf oder zu festgelegten Terminen wird dieser Algorithmus wiederholt abgearbeitet.

5. Struktur des Beratungs-/Expertensystems

Alle in den Entscheidungsprozeß einbezogenen Verfahren können als Bestandteil einer Methodenbank im Prozeßführungssystem PROFIS betrachtet werden. Die verschiedenen Datenbanken bilden die zweite Komponente. Bild 6 zeigt grob den Gesamtaufbau des Beratungs-/Expertensystems zur Prozeßführung einschließlich aller möglichen Informationsflüsse [16].
Die Prozeßterminals erfassen im Dialog mit den Scheibenbearbeitern alle Prozeßzustände und stellen die Steuerdaten für die Beeinflussung des Prozesses bereit. Das Leitterminal führt den Dialog zwischen der übergeordneten Ebene und dem Prozeßführungssystem. Hier werden die Prozeßdaten eingegeben, die durch die einzelnen Leitungsebenen beeinflußt werden, z. B. die Postenprioritäten. Prinzipiell ist es möglich, jedes Terminal als Leitterminal zu betreiben, um eine hohe Flexibilität zu ermöglichen.

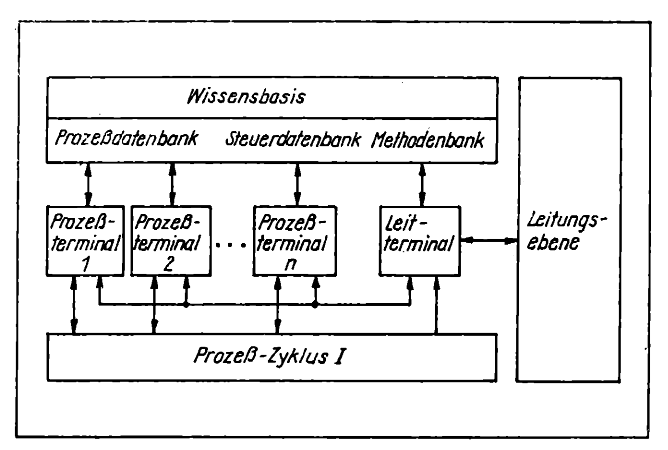


Bild 6. Grobstruktur des Beratungs-/Expertensystems PROFIS

6. Ergebnisse und Erfahrungen

Wesentliche Teile des Prozeßführungssystems PROFIS wurden in einer ersten Ausbaustufe ab April 1984 und in einer zweiten Ausbaustufe ab 1986/87 3schichtig, echtzeitorientiert in Betrieb genommen. Dies betrifft schwerpunktmäßig die Teile des Prozeßführungssystems wie PROFIS-KOMPAKT 2, PROFIS-DATAN und PROFIS-DURST (verschiedene Versionen). Hauptschwerpunkt der gegenwärtigen Entwicklungsarbeiten ist PROFIS-QUALITÄT. Die anderen Module des Systems werden im Off-line-Betrieb eingesetzt. Mit dem Einsatz des Prozeßführungssystems wurde

- eine Verkürzung von Entwicklungs-, Überführungs- und Durchlaufzeiten bei effektivster Nutzung aller Fonds (Anlagen, Medien, Arbeitskräfte usw.) bei gleichzeitiger Erhöhung der Qualität (Ausbeute) erzielt
- eine Qualifikation von Arbeitern, Ingenieuren, Physikern, Mathematikern usw. im Umgang mit dem Konzept der rechnergestützten Diagnose, Überwachung, Steuerung und Planung auf der Grundlage von Beratungs-/Expertensystemen erreicht.

Mit dem Prozeßführungssystem PROFIS, das auch wesentliche Elemente eines CAD/CAM-Systems der Fertigung hochintegrierter Schaltkreise enthält, ist ein wichtiger Schritt zur Effektivierung der Fertigung in einer Fertigungszelle der Mikroelektronik geleistet worden.
Durch die Strategie der Prozeßführung auf der Grundlage von Beratungs-/Expertensystemen haben sich das Konzept der Einheit von Mengen-(Durchlauf-) und Qualitätssteuerung und die konsequente Einbeziehung des Menschen besonders bewährt.

Literatur

[1] *Wernstedt, J.*: Zum Entwurf und Einsatz von Beratungseinheiten bei der operativen Steuerung von Prozessen durch den Menschen. msr, Berlin 24 (1981) 9, S. 482–486.
[2] *Wernstedt, J.*: Zum Einsatz von Beratungs-/Expertensystemen zur Lösung kybernetischer Probleme. msr, Berlin 29 (1986) 8, S. 349–353.
[3] *Böhme, D.; Wernstedt, J.; Winkler, W.*: Methoden zur rechnergestützten Prozeßführung durch den Menschen. Forschungsbericht 141–07. 006. TH Ilmenau 1983.
[4] *Wernstedt, J.*: Konzeption zur operativen Prozeßführung für den Zyklus I einer Fertigungszelle. Arbeitstagung im Kombinat Mikroelektronik. Winterstein/DDR 1983.
[5] *Bergmann, S.*: Rechnergestützte Prozeßführung mittels Prozeßmodellierung und -simulation. Arbeitstagung im Kombinat Mikroelektronik. Winterstein/DDR 1983.
[6] *Otto, P.; Sichardt, A.; Trippler, D.; Winkler, U.; Wernstedt, J.*: Operative Prozeßführung in der F/E-Zelle. Forschungsbericht für den VEB MME. TH Ilmenau 1984.
[7] *Bergmann, S.; Egelkraut, E.; Schmalfuß, V.; Parsiegla, V.; Wernstedt, J.; Otto, P.; Sichardt, A.; Trippler, D.*: PROFIS – ein Prozeßführungssystem zur Herstellung integrierter Schaltkreise. 30. IWK der TH Ilmenau 1985, Vortragsreihe A, S. 49–52.
[8] *Walther, U.*: Ein Algorithmus zur stochastischen Simulation von komplexen technologischen Prozessen. Dissertation A, TH Ilmenau 1975.
[9] *Trippler, D.*: Simulationssystem zur operativen Prozeßführung im Zyklus I der Fertigung hochintegrierter Schaltkreise. Diplomarbeit, TH Ilmenau 1983.
[10] *Egelkraut, E.; Schmalfuß, V.*: Programmsystem zur rechnergestützten Tages- und Wochenplanung einer Fertigungszelle. Bericht, VEB Mikroelektronik „Karl Marx", Erfurt 1984.
[11] *Sichardt, A.*: Entwurf und Test von Methoden zur operativen Prozeßführung einer Zelle im veb mme. Diplomarbeit, TH Ilmenau 1984.
[12] *Parsiegla V.*: Ein Beitrag zur rechnergestützten Technologiesimulation. Teil I und Teil II. Wiss. Zeitschrift der TH Ilmenau (1984), Hefte 3 und 6.
[13] *Parsiegla, V.; Bergmann, S.*: Rechnergestützte 2D-Simulation ausgewählter VLSI-Prozeßschritte im Zyklus I. 29. IWK der TH Ilmenau 1984.
[14] *Parsiegla, V.*: Entwicklung mathematischer Modelle zur Steuerung der Ausbeute von Festkörperschaltkreisen für Mikroprozessoren auf der Basis der Technologie n-SGT. Dissertation A, TH Ilmenau 1985.
[15] *Brack, G.; Sokollik, F.*: Aufgaben der technischen Kybernetik bei der operativen Lenkung der Produktion. msr, Berlin 22 (1979) 11, S. 604–608.
[16] *Sichardt, A.; Trippler, D.*: Entwicklung und Aufbau eines Prozeßführungssystems zur Herstellung integrierter Schaltkreise (PROFIS) für die Mengensteuerung einer F/E-Zelle im VEB MME. Dissertation A, TH Ilmenau 1987.

msr 8750

J. R. Blau; A. Weicker; R. Ehrlich; E. Schulze; U. Leifheit; K. Müller

Entwurf eines Beratungssystems zur Diagnose und Prognose der operationellen Kompetenz des Operators in Mensch-Maschine-Systemen

0. Einleitung und Motivation des Projektes

Die wissenschaftlich-technische Entwicklung der Gegenwart führt zu einer Veränderung des Charakters menschlicher Arbeit. Insbesondere der Einsatz neuer Informationstechnologien (Mikrorechentechnik, Sensortechnik) bewirkt die Verschiebung des Schwerpunktes menschlicher Tätigkeit aus dem überwiegend Manuellen immer weiter in Richtung überwachender Aufgaben. Dabei ist Überwachung im Sinne von Informationsaufnahme, Bewertung und daraus resultierender Entscheidungsfindung, auch und insbesondere in Kooperation mit Beratungssystemen, zu verstehen (Supervisor-Tätigkeit). Diese Tätigkeiten erfordern besondere Fähigkeiten, wie das Erkennen und Klassifizieren vielschichtiger Situationen, die Bewältigung unvorhergesehener Ereignisse, das Entwickeln flexibler Steuerstrategien u. a.

Arbeitsplätze mit komplexer informatorischer Anforderungsstruktur sind z. B. die der Warteningenieure von (Kern-)Kraftwerken, von überregionalen Energieverteilungszentralen, von stark vermaschten chemischen und biotechnologischen Prozessen sowie die aller „Lenker"-Berufe, insbesondere der Arbeitsplatz der Luftfahrzeugführer, das Cockpit. Hier ist vor allem auch der Nutzer von Beratungssystemen einzuordnen [12]. Er wird zum Operator eines ggf. risikobehafteten Mensch-Maschine-Systems. Aufgrund der Komplexität der angebotenen Informationen ist der Mensch nicht mehr in der Lage, alle verfügbaren Informationen in die Entscheidungsfindung einzubeziehen. Technische Systeme sind ihm hinsichtlich der auswertbaren Informationsmenge, der Verarbeitungsgeschwindigkeit und -sicherheit bei weitem überlegen. In unvorhersehbaren Steuersituationen ermöglichen ihm jedoch Intuition und Erfahrung günstigere Reaktionen, d. h. effektivere Entscheidungen bei der Steuerung von Prozessen.

Der Ersatz des Menschen bei Steueraufgaben ist daher zum gegenwärtigen Zeitpunkt nur in den Fällen denkbar, in denen die vollständige Steuer- und Beobachtbarkeit des Prozesses vorliegt. In allen anderen Fällen ist der Mensch entweder aus ökonomischen, ethischen, sicherheitstechnischen oder Realisierungsgründen als höchste Autorität im komplexen Mensch-Maschine-System zu belassen [13].

Die Tätigkeitsgebiete des Menschen bei der sich gegenwärtig vollziehenden Arbeitsplatzumgestaltung sind im Bild 1 dargestellt.

Die angestrebte objektivierbare und damit automatisierbare Diagnose des Zustandes von Operatoren leistet einen wesentlichen Beitrag zur Erhöhung der Sicherheit risikobehafteter Mensch-Maschine-Systeme, indem die Übergabe der Entscheidungsgewalt an den Menschen in Risikosituationen in Abhängigkeit von dessen aktueller und zu erwartender Kompetenz erfolgen kann.

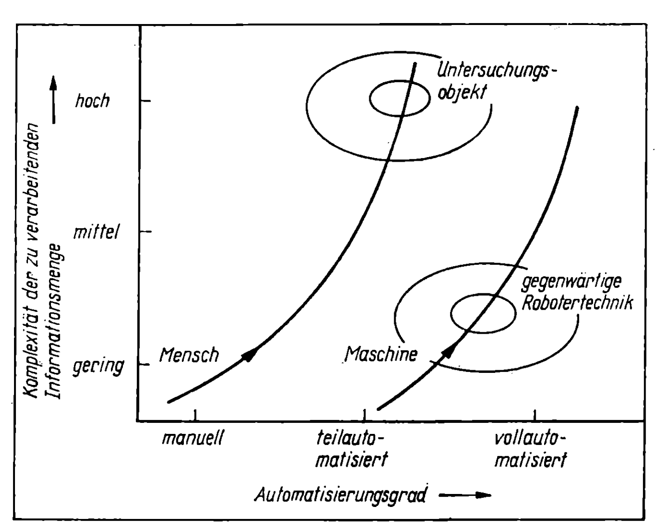


Bild 1. Einordnung der Operatortätigkeit in komplexen Mensch-Maschine-Systemen

Die sich gegenwärtig vollziehende Veränderung der Tätigkeitsstruktur zum sogenannten „Supervisoring" stellt die Informationsaufnahme und -bewertung in den Mittelpunkt menschlicher Arbeit.

1. Zielstellung

Die komplizierte psychophysiologische Struktur zielgerichteter Handlungen des Menschen ist die Ursache für eine hohe potentielle Leistungsfähigkeit von komplexen Mensch-Maschine-Systemen, kann aber auch starke Schwankungen im aktuellen Leistungsvermögen zur Folge haben. Die Beurteilung der Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems muß über eine Effektivitätseinschätzung der menschlichen Arbeitstätigkeit unter den Bedingungen eines festgelegten Anforderungsspektrums erfolgen. Der Operator als die Systemkomponente mit der höchsten Autorität bildet ein Teilsystem mit mentalen und sensomotorischen Fähigkeiten, das unter Berücksichtigung des aktuellen psychophysiologischen Zustandes wesentlich die Funktionssicherheit des Systems und die Ausschöpfung seiner Leistungsreserven bestimmt.

Daraus resultierend ergeben sich Fragen nach der Erfaßbarkeit der operationellen Fähigkeiten des Operators in Abhängigkeit von seinem aktuellen Zustand. Als beobachtbare Ausgänge des Systems „Operator" können nur solche Signale genutzt werden, die über eine Wechselwirkung mit der objektiven Realität rückwirkungsfrei meßbar sind (Transducer-Problem). Für technische Systeme stellt das bis auf meßtechnische Probleme (Sensorik) i. allg. keine Einschränkung dar, da durch die Zweckbestimmung des Systems die Zuordnung von Signal und dessen Bedeutung für das System eindeutig herstellbar ist.

Für die Untersuchung des Operators stehen elektrische, chemische, mechanische, magnetische und andere Signale zur Verfügung (Tafel 1), die allerdings alle nur mittelbar (über einen Komplex hierarchischer Regelkreise) von der zu diagnostizierenden Güte der operationellen Entscheidungsstrategien determiniert sind.

Die für die Zustandsbeurteilung nutzbaren Beschreibungsgrößen sind so komplexer Genese, daß dynamische multivariable Untersuchungen notwendig sind und erst die Auswertung einer möglichst großen und relevanten Parametermenge die Validität (Gültigkeit) einzelner Parameter bestätigen kann.

Dr.-Ing. *Jörg Rüdiger Blau* (34) studierte von 1972 bis 1976 Biomedizinische Technik und Bionik an der TH Ilmenau. Dort jetzt als Oberassistent tätig. 1981 Promotion A.

Dipl.-Ing. *Annegret Weicker* (26) studierte ab 1981 Biomedizinische Technik und Bionik an der TH Ilmenau. Dort jetzt Forschungsstudentin.

Dr.-Ing. *Rudolf Ehrlich* (53) studierte von 1953 bis 1959 am Institut für elektromedizinische und radiologische Technik der HS für Elektrotechnik Ilmenau. Jetzt an der Sektion TBK der TH Ilmenau als wissenschaftlicher Assistent und Forschungsgruppenleiter tätig. 1972 Promotion A.

Dr. med. *Evelyn Schulze* (52) studierte von 1953 bis 1960 Medizin an der Humboldt-Universität zu Berlin. Von 1961 bis 1967 Facharztausbildung für Neurologie/Psychiatrie in der Nervenklinik der Charité. 1968 Promotion A. Jetzt Abteilungs- und Forschungsgruppenleiterin beim Medizinischen Dienst des Verkehrswesens, Direktion Zivile Luftfahrt, Flughafen Berlin-Schönefeld.

Dipl.-Ing. *Uwe Leifheit* (31) studierte von 1974 bis 1979 Biomedizinische Technik und Bionik an der TH Ilmenau. Jetzt wissenschaftlicher Mitarbeiter beim Medizinischen Dienst des Verkehrswesens, Direktion Zivile Luftfahrt, Flughafen Berlin-Schönefeld.

Dr. rer. nat. *Karin Müller* (30) studierte von 1975 bis 1983 Psychologie an der Humboldt-Universität zu Berlin. 1984 Promotion A. Jetzt Abteilungsleiter beim Medizinischen Dienst des Verkehrswesens, Direktion Zivile Luftfahrt, Flughafen Berlin-Schönefeld.

Tafel 1. Übersicht über psychophysiologisch interessante Biosignale — Funktionssystem und spezielle Funktion

1. Hirnpotentiale
   - spontane Aktivität (Makroprozeß)
   - evozierte Aktivität (Potentiale)
2. Augen-Funktionen
   - Augenbewegungen
   - Lidschlag
   - Pupillenweite
3. Muskel-Funktionen
   - Muskelaktionspotentiale
   - Tremor
   - Muskelvibration
   - Körperbewegungen
4. Atem-Funktionen
   - Atemtätigkeit
   - Atemvolumenleistung
   - Atemströmung
   - Atemgasstoffwechsel
   - Atemgeräusche
   - Stimme
5. Herz-Kreislauf-Funktionen
   - Herzaktionspotentiale
   - Herzfrequenz
   - Herzschall
   - Schlagvolumen (indirekt)
   - Herzkraft (Beschleunigung)
   - Blutdruck (arteriell)
   - periphere Pulswellen
   - peripheres Pulsvolumen
   - Pulswellengeschwindigkeit
   - Systolenzeiten
   - Durchblutung von Haut und Muskel
   - Blutgase, Säure-Basen-Status
6. Haut-Funktionen
   - elektrodermale Aktivität
     - tonisch
     - phasisch
     - tonisches Hautpotential (endosomatisch)
     - phasisches Hautpotential
   - Hautfeuchte
   - Hauttemperatur

Unter Nutzung von Methoden der Systemtheorie und Systemanalyse und mit Hilfe nichtnumerischer Informationsverarbeitung und multivariater Statistik können wesentliche Parameter und Informationsmerkmale für die Beschreibung des psychophysiologischen Zustandes von Operatoren gefunden und auf der Grundlage dieser ein Wissen und Regeln verarbeitendes Beratungssystem konzipiert werden, das eine Diagnose- und Entscheidungshilfe für den untersuchenden Mediziner darstellt.

2. Experimenteller Ansatz und Datenerfassung

Die Suche nach informativen Kenngrößen zur globalen Beschreibung operationeller Fähigkeiten erfordert eine Untersuchungstechnologie, die in starkem Maße tätigkeitsbezogen ist und außerdem eine deutliche Auslenkung des Systems Maschine—Operator aus seinem Arbeitspunkt bewirkt. Laborexperimente mit strenger zeitlicher und inhaltlicher Struktur sind nur bedingt geeignet, da die Komplexität der Anforderungsstruktur entsprechend den Arbeitstätigkeiten von diesen nicht nachgebildet werden kann. Insbesondere sind die Fähigkeiten zu komplexen Entscheidungsstrategien nur in zeitlich und inhaltlich frei strukturierten Experimenten (z. B. Training, Simulatoren, Felduntersuchungen) zu diagnostizieren, da sie vom langjährig erworbenen inneren Modell des Operators für die entsprechende Situation abhängen. Die Gewinnung grundlegender Kenntnisse ist nur von Untersuchungen zu erwarten, bei denen Beanspruchung, Belastung und Leistung in ihren Zusammenhängen transparent gemacht werden können und tätigkeitsspezifische Situationsafferenzen (Gesamtheit aller zum Zentralnervensystem gelangenden Informationen über die Situation) vorhanden sind. Insbesondere ist auch, wie oben erwähnt, eine deutliche Auslenkung der meßtechnisch erfaßbaren Signale des Operators für deren Interpretation zu fordern.
In einem Pilotprojekt sollen grundlegende Erkenntnisse zur objektivierten Diagnose und Prognose der Leistungsfähigkeit von Operatoren gewonnen werden, um diese im Rahmen eines Beratungssystems auch für die Diagnose/Prognose anderer Operatoren risikobehafteter Mensch-Maschine-Systeme zu nutzen.
Die Untersuchung von Flugzeugführern während des Simulatortrainings erfüllt die oben gestellten Forderungen.
Die komplexe Anforderungsstruktur der Flugzeugführer mit ausgeprägtem Supervisor-Charakter führt zu speziellen, d. h. vorhersagbaren, sensomotorischen Reaktionen, die durch die akzeptierten Arbeitsanforderungen, die hohe Motivation der Tätigkeit und damit verbunden die Bereitschaft zur Inanspruchnahme der individuellen Leistungsvoraussetzungen hervorgerufen werden.
Die im Vergleich zu anderen Berufsgruppen gute Homogenität der untersuchten Population wirkt sich günstig auf statistische Untersuchungen aus.

Entsprechend dem methodologischen Prinzip der Drei-Ebenen-Analyse [6] werden im Prozeß des Flugtrainings Daten erhoben, die

- das Befinden und Beanspruchungserleben
- das Verhalten und die Leistung
- die physiologischen Begleitprozesse

repräsentieren.
Das Befinden und Erleben der Beanspruchung durch das Training wird mit dem Belastungsverlaufs-Fragebogen (BLV) von *Künstler* erfaßt. Der Handlungsaufwand aus Steuerung und Antriebsregulierung wird mittels kontinuierlicher Registrierungen der Ruderstellungen und Triebwerksleistungen aufgezeichnet. Zusätzlich werden insgesamt 150 Ereignisse objektiv markiert. Diese Flugereignismarkierung dient der Zuordnung der physiologischen kontinuierlichen Signale zu beanspruchungsrelevanten Flugabschnitten.
Trotz der nachweislichen Notwendigkeit, die Anzahl der zu nutzenden physiologischen Meßgrößen zu maximieren, muß die Meßgrößenanzahl bei den durchgeführten Untersuchungen nicht nur aus ökonomischen Gründen gering bleiben.
Der andere Grund dafür ist, daß psychophysiologische Experimente nur mit einer Meßapparatur durchgeführt werden dürfen, die rückwirkungsfrei ist. Das heißt, die Messung eines Signals darf die Signalgenese (wegen der Aufgabenstellung muß darunter der gesamte psychophysiologische Zustand verstanden werden) nicht bzw. nur vernachlässigbar beeinflussen.
Außerdem sind stabile Messungen unter Feldbedingungen bei meßtechnisch kompliziert zu ermittelnden physiologischen Größen (z. B. Blutdruck, EEG) nur mit extremem Aufwand oder gar nicht zu erreichen.
Aus diesem Grund reduziert sich vorerst der zum Einsatz kommende Datenkomplex auf Herzperiodendauer (HPD), Atemperiodendauer (APD) und Hautleitwert (HLW). Mit Herz- und Atemperiodendauer stehen die gebräuchlichsten physiologischen Meßgrößen psychophysiologischer Untersuchungen für die Beanspruchungsanalyse des Herz-Kreislaufsystems zur Verfügung. Der Hautleitwert stellt ein Biosignal dar, das nach seiner Genese ein anderes biologisches Subsystem repräsentiert. Er gilt für psychophysiologische Fragestellungen als empfindlicher Indikator für allgemeine Aktivierungsvorgänge sowie für Motivations- und Emotionsänderungen [7].
Aus den objektiv erfaßbaren physiologischen Meßgrößen sollen über eine Parameterextraktion Maße ermittelt werden, die automatisiert bestimmbar sind und in ihrer Semantik Bezüge zur Leistungsfähigkeit liefern. Aufgrund der starken inter- und intraindividuellen Streuungen biologischer Daten sind subjektiv sofort und problemlos zu differenzierende und klassifizierende Veränderungen in den physiologischen Signalverläufen mathematisch sehr schwer zu beschreiben und zu unterscheiden.
Die Anwendung parametrischer und nichtparametrischer Analyseverfahren auf umfangreiche physiologische Datensätze soll Auskunft darüber geben, welche extrahierten Parameter adäquate Beschreibungsformen für spezielle physiologische Veränderungen repräsentieren und welche Zuordnungen es zwischen dem Ausprägungsgrad der Änderungen und der Quantität der ermittelten Parameter gibt.
Das System Flugzeugführer—Flugsimulator erzeugt beim Flug über sechs Platzrunden und der Bewältigung von Triebwerksausfällen im Landeanflug über die Dauer von etwa 100 min einen Datenstrom, der sich aus einem kontinuierlichen und einem diskontinuierlichen Teil zusammensetzt. Es bestehen beim gegenwärtigen Erkenntnisstand über die komplexe fliegerische Tätigkeit mit zeitlichen und inhaltlichen Freiheitsgraden keine Voraussetzungen für eine A-priori-Definition von psychophysiologischen Kennwerten und damit keine Möglichkeit einer maximalen On-line-Datenvorverdichtung. Daraus ergibt sich der Zwang zur vollständigen Akkumulation der Daten. Dieses Ziel wird mit einer problemorientierten Mikrorechnerkonfiguration realisiert (Bild 2). Die Daten der Verhaltensebene (Leistungsverstellung zweier Triebwerke, sensomotorische Regelung um drei Achsen des Flugzeugs mit Hilfe dreier Ruderstellungen) und der Hautleitwert werden kontinuierlich erfaßt. Diskontinuierlich treffen Ereignismarken (z. B. Lösen der Standbremse, Fahrwerk ausfahren, Signalisation bei Über-

Bild 2. Problemangepaßte Meßwerterfassung

flug von Streckenmarkierungspunkten) und die R-Zacken aus dem EKG und Inspirationsbeginnimpulse aus der Atmung ein. Die Herz- und Atemperiodendauern werden vollständig als Punktprozeß gespeichert. Um bei der Biosignalanalyse diese Punkte beanspruchungsrelevanten Flugabschnitten bzw. -ereignissen zuordnen zu können, wird bei der Datensammlung der Periodendauern keine Zeitunsicherheit durch Hard- oder Software zugelassen [2]. Die Artefaktunterdrückung bzw. -beseitigung für die Sammlung der Daten erfolgt durch einen Verfahrenskomplex analoger und digitaler Maßnahmen [3] (Bild 3).

3. Parametergewinnung

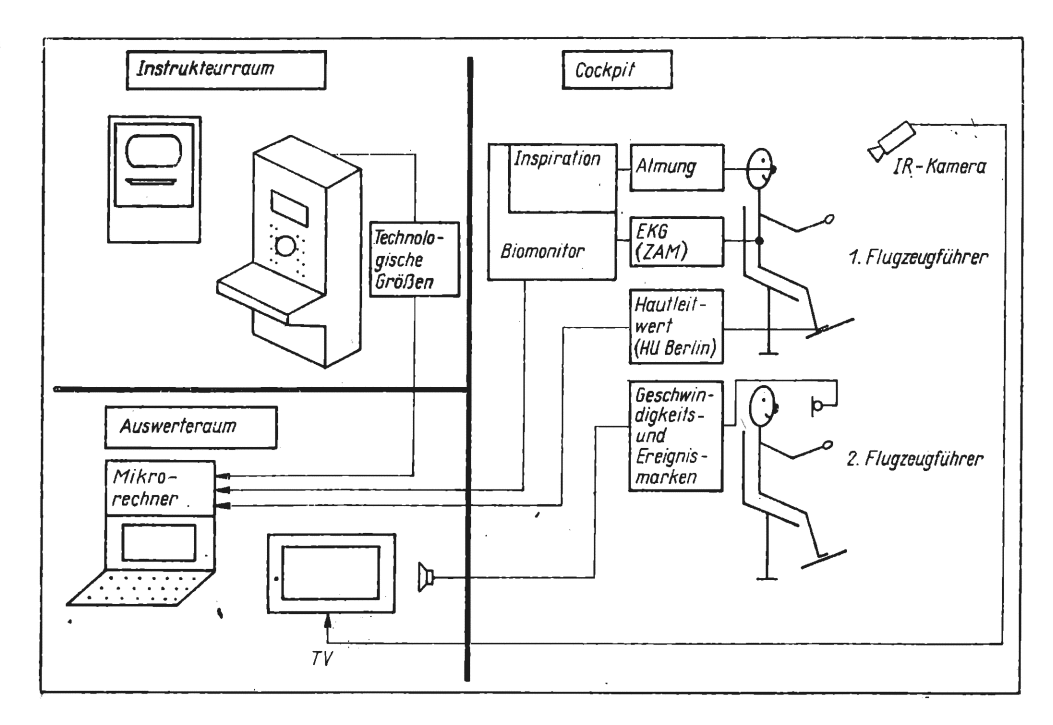
Die Suche nach informativen Merkmalen in diesem Datenmassiv verlangt nach einer problembezogenen Auswertetechnologie. Durch die Nutzung vollgrafischer Mikrorechentechnik gelingt es, ein Optimum zwischen der für medizinische Untersucher gewohnten Darstellung und einfach zu handhabenden Quantifizierungsverfahren für die Gewinnung interessierender Parameter zu finden. Untereinander werden auf einem vollgrafischen Display alle drei gemessenen physiologischen Funktionen (HLW, APD, HPD) und alle fünf technologischen Funktionen (Triebwerke, Ruder) im Sekundenraster dargestellt. Ein Bild beinhaltet somit mehr als 4 min Experiment. Die in das Bild fallenden diskontinuierlichen Ereignismarken werden ins Bild eingeblendet. Trifft der schnell und langsam bewegliche Kursor auf eine solche Marke, wird diese im Klartext ausgegeben. Die ausgegebenen Größen der physiologischen Funktionen entsprechen den Werten am aktuellen Kursorstand. Die Bildpositionierung im Datensatz kann durch Vorwärts- und Rückwärtsblättern, durch Anforderung einer neuen darzustellenden Zeit oder durch Anforderung einer diskontinuierlichen Marke erfolgen (Bild 4).

Für die Datensätze der Herzperiodendauer und Atemperiodendauer kann die Darstellung als Intervallsequenz erfolgen. Diese Darstellung verfälscht im Gegensatz zur üblichen Herz- und Atemfrequenzbewertung die dynamische Feinstruktur der Signale nicht (Bild 5).

Tafel 2. Übersicht über extrahierte Parameter aus den Signalverläufen

1. Herzperiodendauer
   - 10-s-Mittelwerte
   - Regressionsparameter
   - Parameter der lokalen linearen Regression
   - Arhythmie-Maße
   - Intervall-Histogramme
   - Verbundintervall-Histogramme
   - Spektren
     - Leistungsanteile in ausgewählten Frequenzbändern
     - Hauptfrequenzen
   - Kardio-respiratorischer Koeffizient
2. Hautleitwert
   - Regressionsparameter
   - Gesamttonus
   - Rundentonus
   - reizungsspezifische Hautleitwert-Reaktionen
   - reizspezifische Hautleitwert-Reaktionen
   - charakteristische Differenzen in jeder Runde
3. Kontinuierliche technologische Größen
   - Spektren zur Ruderperiodik-Analyse
   - ausgelenkte Ruderfläche

Bild 3. Gewinnung der Datenbasis im Pilotprojekt „Simulatorflug“



Eine spezielle Darstellung verbessert die Möglichkeiten der Zuordnung der den Handlungsablauf beschreibenden Signale (Bild 6).

Bei der Parametrisierung vegetativer Funktionen muß die Beeinflussung ihrer Dynamik durch Eigenrhythmik, Aktivierungsniveau und Ereignisbewertung beachtet werden.

Deshalb wird ein umfassendes Inventar signalbeeinflussender und modellierender Verfahren zur Parametergewinnung genutzt. Die ermittelten Parameter sind in Tafel 2 beschrieben.

Praktische Realisierung der Parametrisierung der Biosignale zeigen die Bilder 7 bis 12.

Die für die objektive Leistungsbewertung notwendige Parametergewinnung aus den Signalverläufen der kontinuierlichen technologischen Größen vermittelt Bild 13.

4. Parameterbewertung

Alle Parameter der Drei-Ebenen-Struktur sowie die Leistungsklasseneinteilung der Flugzeugführer bilden eine Datenbank

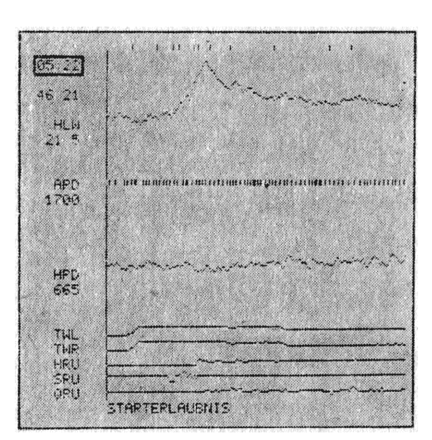


Bild 4. Übersichtsdarstellung aller erfaßten Signale Kursor steht auf Ereignismarke „Starterlaubnis“; HLW Hautleitwert; APD Atemperiodendauer; HPD Herzperiodendauer; TWL Triebwerksleistung links; TWR Triebwerksleistung rechts; HRU Höhenruder; SRU Seitenruder; QRU Querruder

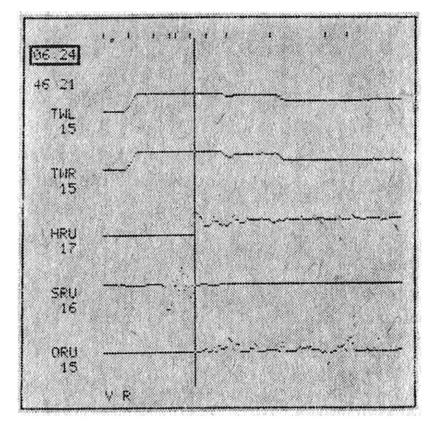
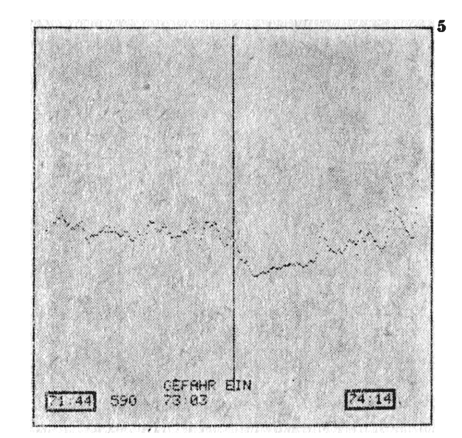


Bild 6. Darstellung der kontinuierlichen technologischen Größen zur Analyse der erbrachten Leistung des Flugzeugführers

Bild 8. Belastung des Herz-Kreislauf-Systems während einer Flugrunde, beschrieben durch 10-s-Mittelwerte der RR-Intervalle

5



7

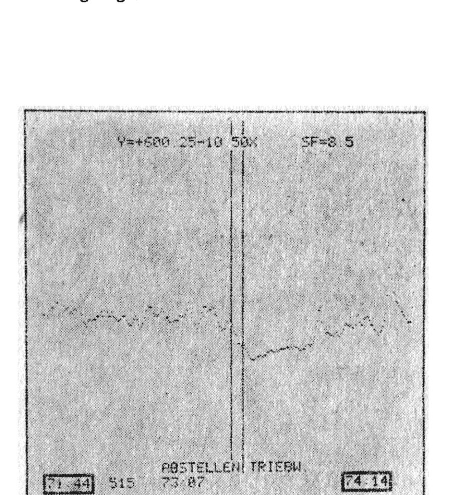


Bild 5. Sequentielle Darstellung des Punktprozesses Herzaktivität mit eingeblendeten Versuchszeiten; aktueller Wert des RR-Intervalls am Kursorstand und Ereignismarke

Bild 7. Regressionsanalyse des Punktprozesses Herzaktivität zwischen den Ereignissen „Gefahr ein“ und „Triebwerk abstellen“

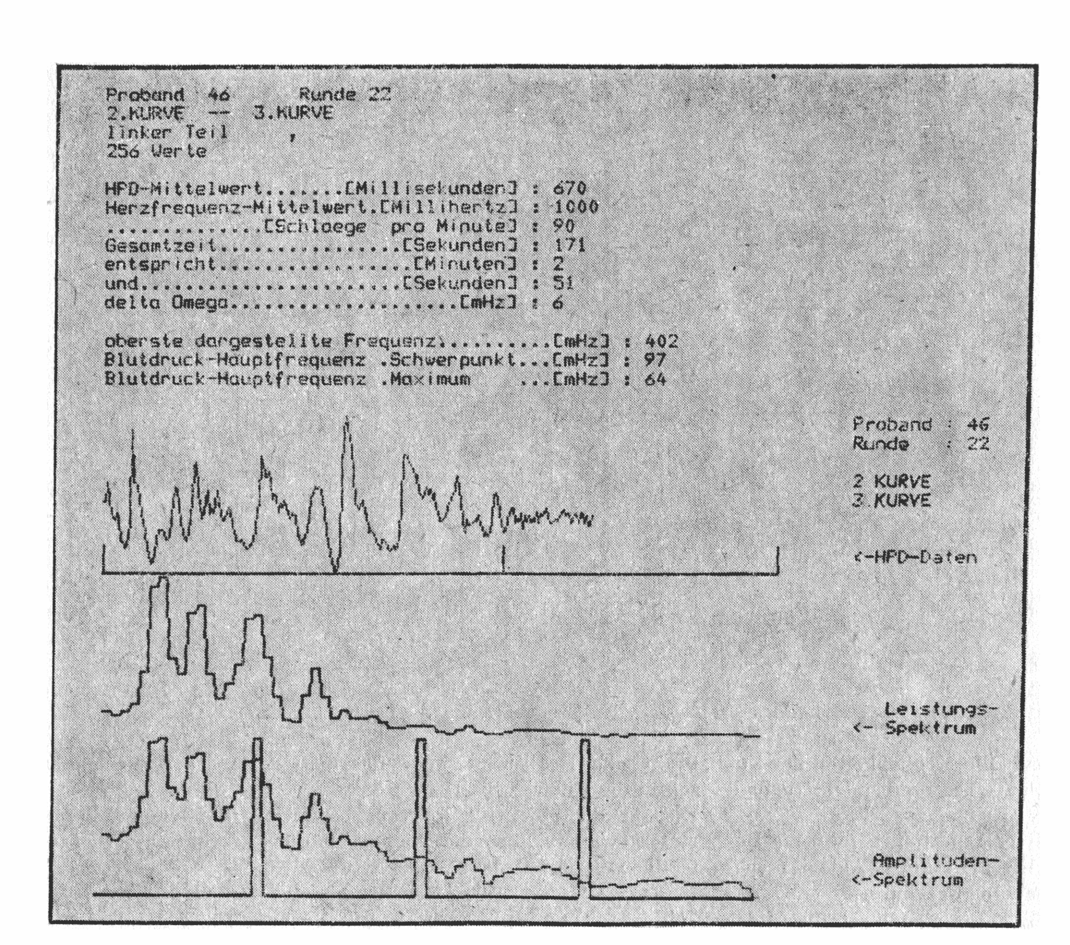


Bild 9. Spektren der Herzperiodendauer während eines Flugabschnittes mit Markierung der Frequenzen 0,1 Hz, 0,2 Hz und 0,3 Hz

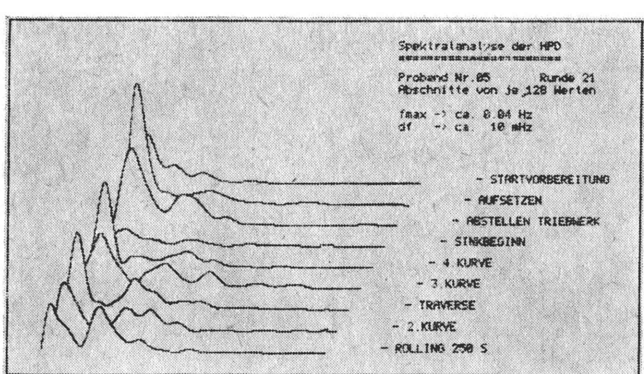


Bild 10. Beanspruchungsanalyse während eines Untersuchungsabschnittes durch sukzessive Berechnung von Spektren der RR-Intervalle

für die uni- und multivariate Statistik. Die Datenbank beinhaltet in einer Dimension die Zeit (hier Jahre). Damit werden Anpassungs- und Verlaufsuntersuchungen unterstützt (Bild 14). Unter Steuerung eines Rahmenprogrammes kann die Datenbank manipuliert (Verknüpfung von Parametern), editiert oder ausgewertet werden. Die auswertenden Programme nutzen die Datenbank als Eingangsdaten und können ggf. ihre Ergebnisse in die Datenbank eintragen (z. B. Klassifizierung durch Clusteranalyse).

Von der Programmkomponente zur statistischen Auswertung werden der t-, F-, U-, H-, chi-Quadrat-, Kolmogorov-Smirnov-Test und die Rangierung realisiert [5] und [11]. Als multivariate Analysen stehen Cluster- [8] und Diskriminanzanalyse [1] sowie eine spezielle Programmkomponente zum Entwurf linearer und nichtlinearer Klassifikatoren [4] zur Verfügung.

5. Konzeption des Beratungssystems

Neben der Parametrisierung von Merkmalen und der Erforschung ihrer Wichtigkeit ist die Einbeziehung der subjektiven Diagnose-/Prognosefähigkeit des Spezialisten für die Entwicklung qualitativ und quantitativ neuartiger Diagnose- und Prognosemethoden notwendig.

Die Notwendigkeit der Nutzung subjektiver Einschätzungen entsteht auf folgenden Ebenen:

- Bewertung des globalen psychophysiologischen Zustandes während der Gewinnung der objektiv analysierbaren Parameter zu deren Validierung

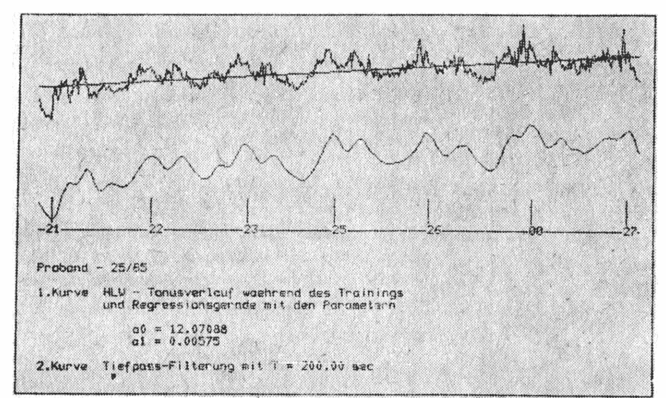


Bild 11. Trend und Rundendynamik des Hautleitwertes

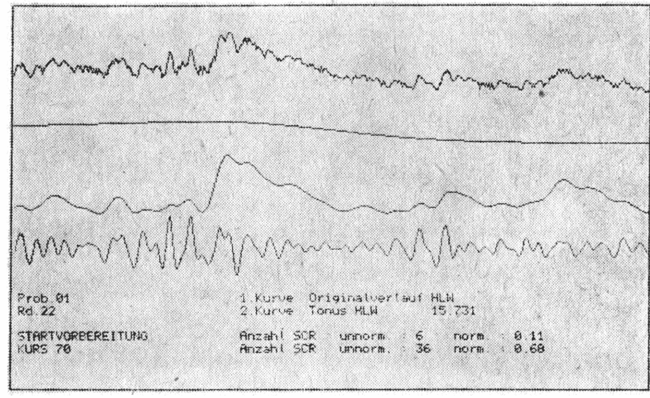
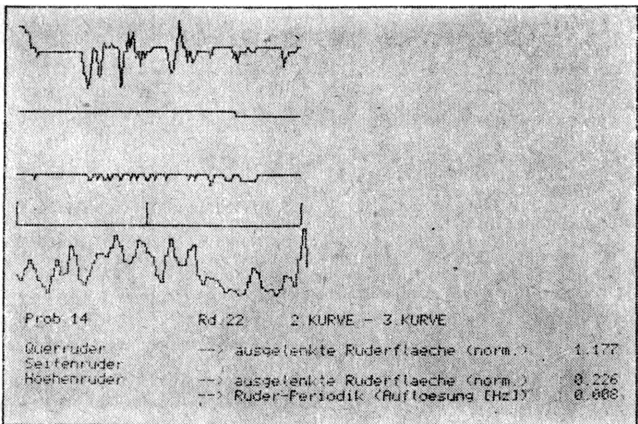


Bild 12. Trennung von beanspruchungsspezifischen und beanspruchungsunspezifischen Hautleitwert-Reaktionen (3. und 4. dargestellte Kurve)



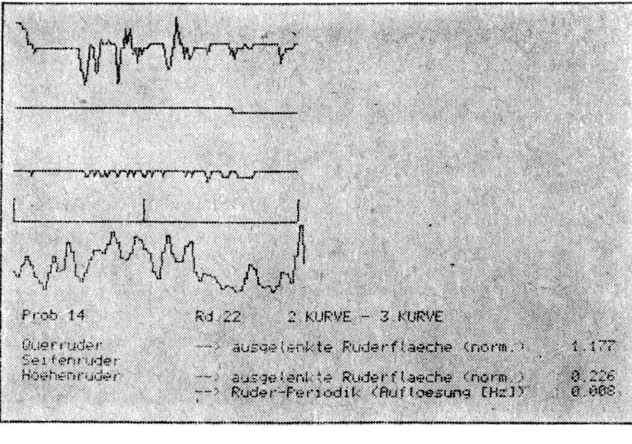
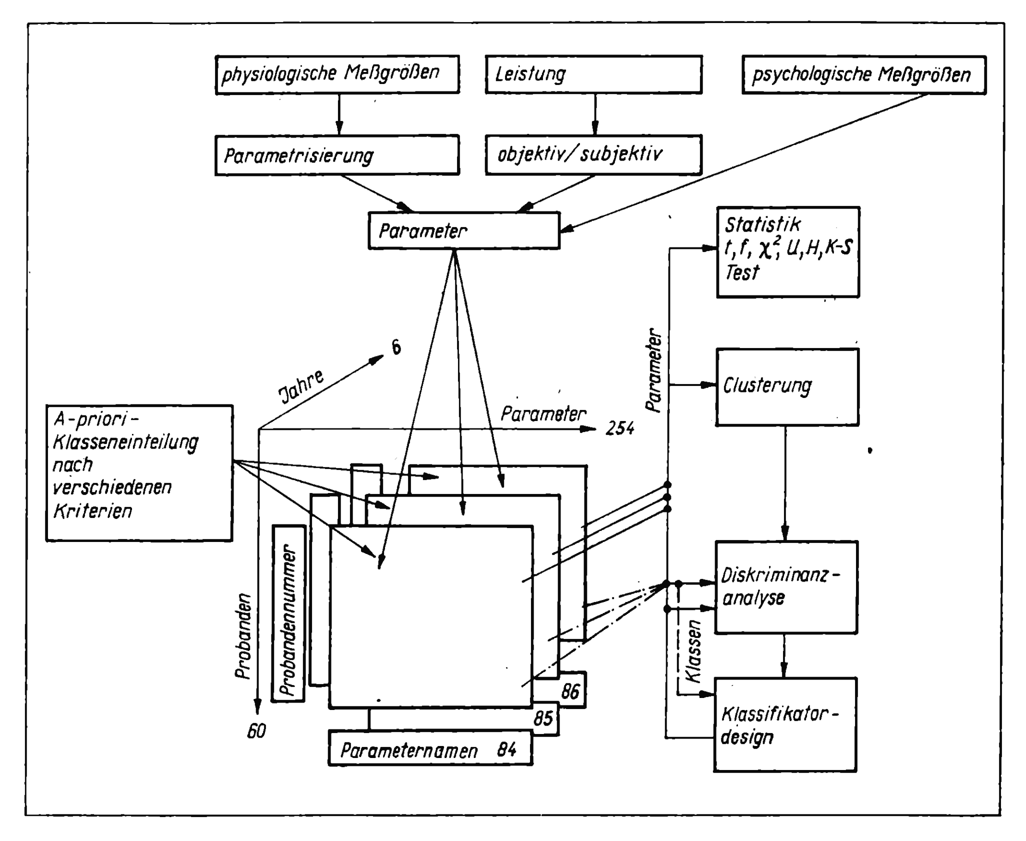


Bild 13. Analyse der Ruderperiodik des Höhenruders und Ermittlung von Parametern zur Erfassung der ausgelenkten Ruderfläche von Höhen- und Querruder

– Bewertung der operationellen Leistung bei komplizierten Tätigkeiten mit großen Handlungsfreiräumen des Operators
– Nutzung diagnostisch-prognostischer Fähigkeiten medizinischer Experten.

Die Verarbeitung subjektiver Informationen mittels Faktensammlungen, logischer Regeln und Hypothesen im Rahmen deklarativer Problembeschreibungen mit Zugriff zu Wissensbasen stellt den derzeit realisierbaren Weg zur Einbeziehung ärztlichen Wissens in den maschinellen Auswerteprozeß dar. Infolge der hochspezialisierten Aufgabenstellung ist eine Validierung der Wissensbasis nicht durch die Hinzunahme von Expertenwissen, sondern nur in einem iterativen Prozeß der Bewertung diagnostizierter und erbrachter Leistung zu erreichen.
Da bei der Diagnose/Prognose durch den Experten intuitiv ein extrem breites Spektrum von zumeist unscharfen Probandeninformationen verarbeitet wird, ist die Zusammenfassung von Expertenwissen auf unteren Entscheidungsschritten nicht erfolgreich. Die Wissensbasis muß die existierenden Entscheidungsstrategien kompakt verwalten.
Die Einbeziehung aller Komponenten führt zu einer Struktur des Beratungssystems, wie sie Bild 15 zeigt.



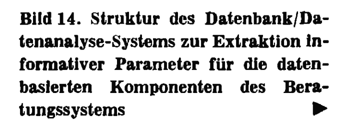
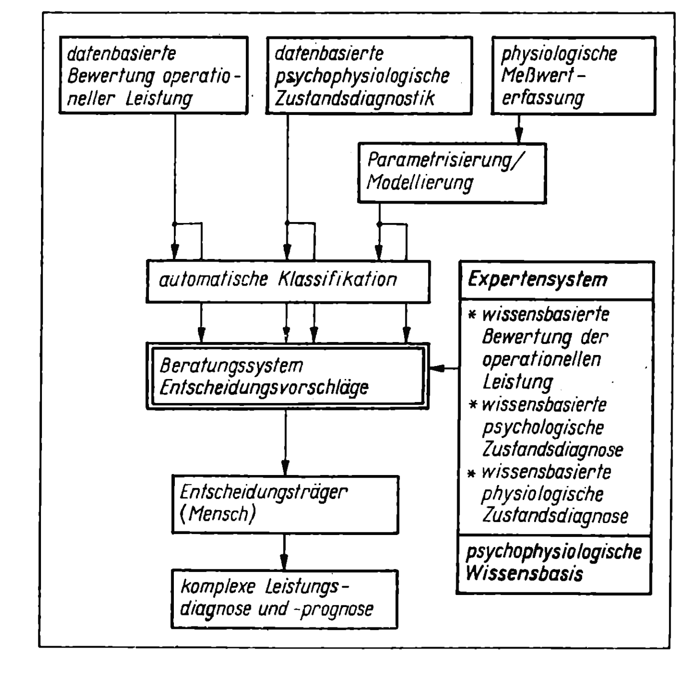


Bild 14. Struktur des Datenbank/Datenanalyse-Systems zur Extraktion informativer Parameter für die datenbasierten Komponenten des Beratungssystems ▶

Bild 15. Konzeption des Beratungssystems zur Diagnose und Prognose der operationellen Kompetenz des Operators in Mensch-Maschine-Systemen



Zusammenfassung

Die Veränderung der Tätigkeit des Menschen zum „Monitoring" steht im Widerspruch zu seiner phylogenetischen Entwicklung. Zur Optimierung komplexer Mensch-Maschine-Systeme muß die aktuelle und zukünftige Kompetenz des Menschen als Operator objektiv bestimmt werden.
Meßtechnisch vom Menschen erfaßbare Signale stellen nach außen gespiegelte, über (relativ komplizierte) Wandler gewonnene Ausgänge miteinander kooperierender Subsysteme unter einer hierarchischen Zielfunktion dar, die nicht unmittelbar die Güte der operationellen Leistung beschreiben. Deshalb wird, ausgehend von einem multivariablen Ansatz, auf den Ebenen von Leistung, Befinden und Physiologie nach informativen Merkmalen der gemessenen Signale dieser Ebenen gesucht. Unter Nutzung dieser Merkmale und unter Einbeziehung von Expertenwissen wird ein problembezogenes Beratungssystem zur komplexen Diagnose und Prognose der Kompetenz von

Operatoren konzipiert. Die Bearbeitung erfolgt unter konsequenter dialogorientierter Nutzung grafiktüchtiger Mikrorechentechnik für die Datensammlung, Präsentation, Parametrisierung sowie für die uni- und multivariate Statistik.

Literatur

[1] *Ahrens, H.; Läuter, J.:* Mehrdimensionale Varianzanalyse. Berlin: Akademie-Verlag 1981.
[2] *Blau, J. R.; Henke, K.; Enge, M.:* Realisierung der Erfassung und Vorverarbeitung von Herzperiodendauern zur Untersuchung des Menschen im Mensch-Maschine-System. Wissenschaftliche Zeitschrift der TH Ilmenau 31 (1985) S. 27–36.
[3] *Blau, J. R.:* Mikrorechnersystem für dynamische psychophysiologische Untersuchungen. Bibliothek des Geschwaderarztes (1984) 14, S. 52–57.
[4] *Böhme, D.:* Ein Beitrag zur Steuerung und operativen Führung von Prozessen mittels Klassifikationsverfahren. Dissertation A, TH Ilmenau 1985.
[5] *Clauß, G.; Ebner, H.:* Grundlagen der Statistik. Berlin: VEB Verlag Volk und Wissen 1978.
[6] *Fahrenberg, J.:* Psychophysiologische Methodik. Enzyklopädie der Psychologie — Diagnostik, Bd. 4. Göttingen/Toronto/Zürich: Verlag für Psychologie Dr. J. C. Hogrefe 1983.
[7] *Michel, J.:* Grundlagen, Methodik und Ergebnisse eines multivariablen dynamischen Untersuchungsverfahrens mit psychischer Belastung zur quantitativen Erfassung und Differenzierung von Systemeigenschaften des menschlichen Organismus. Dissertation B, Humboldt-Universität zu Berlin 1981.
[8] *Lev, W.:* Grundlagen, Algorithmen und Programme für Methoden der klassenweisen Modellbildung. Diplomarbeit, TH Ilmenau, Sekt. TBK, 1986.
[9] *Schulze, E.:* Psychophysiologische Objektivierung der fliegerischen Leistungsfähigkeit. Verkehrsmedizin 3 (1983) 27, S. 165–172.
[10] *Schulze, E.; Harre, H.; Blau, J. R.:* Problemangepaßte Meßwerterfassung bei dynamischen psychophysiologischen Untersuchungen am Flugsimulator am Beispiel des Hautleitwertes. Verkehrsmedizin 4 (1983) 30, S. 133–148.
[11] *Weber, E.:* Grundriß der biologischen Statistik. Jena: VEB Gustav Fischer Verlag 1980.
[12] *Wernstedt, J.:* Methoden und Erfahrungen zur Prozeßsteuerung und Entscheidungsfindung durch den Menschen auf der Grundlage von Beratungs-/Expertensystemen. msr, Berlin 28 (1985) 7, S. 295–298.
[13] *Wernstedt, J.:* Zum Einsatz von Beratungs-/Expertensystemen zur Lösung kybernetischer Probleme. msr, Berlin 29 (1986) 8, S. 349–353. msr 8754

I. Neumann; I. Heinrich

Lösungsstrategie zur Realisierung von Expertensystemen in Dispatcherzentren des Elektroenergiesystems

0. Einleitung

International ist die Automatisierung des Elektroenergiesystems durch folgende Grundlinien gekennzeichnet:

– Die Prozeßleittechnik in Elektroenergiesystemen entwickelt sich stürmisch und in verstärktem Maße auf der Basis freiprogrammierbarer Technik.
– Die Anforderungen an die Entscheidungsgeschwindigkeit und -güte, z. B. der Grad der Verbindlichkeit zu komplexen Sachverhalten in komplizierten Situationen, wachsen in dem Maße, wie die Anforderungen an eine qualitative und quantitative Bereitstellung an Elektroenergie wachsen.
– Entwicklungen auf dem Gebiet der Informatik erschließen zunehmend das Gebiet der künstlichen Intelligenz, speziell das Teilgebiet Expertensysteme.

Diese drei Aspekte müssen in die Konzeption und Entwicklung von prozeßleittechnischen Einrichtungen stark einbezogen werden, um ein aufwärtskompatibles System prozeßnaher und Wartentechnik für die Unterstützung der Betriebsführung von Elektroenergiesystemen (EES) zu sichern. In den nachfolgenden Betrachtungen sollen speziell für den konkreten Applikationsfall der Lastführung in EES die Entwicklung eines Expertensystems und die damit korrespondierenden Probleme behandelt werden.
Die zugehörige prozeßnahe Technik wird hier nur soweit einbezogen, wie es die Anforderungen an die Prozeßdatenbereitstellung, die diese Technik leisten soll (Situationserkennung und Klassifizierung von Prozeßzuständen, die sich aufgrund von unerwünschten und erwünschten Ereignissen einstellen [6] [9] und [10]), bedingen.

1. Aufgaben der Lastführung in EES

Zur Lastführung in EES zählen die Aufgabenkomplexe [11] und [12]:

– Lastüberwachung
– Lastausgleich (Tariftäler auffüllen)
– Spitzenbegrenzung (Spitzenlastsenkung)
– Lastdisposition
– Lastabwurf.

Die dazu notwendigen Aufgaben, wie

– Festlegen der Sollzustände und Überwachung ihrer Einhaltung
– Vorgabe von Führungsgrößen zur Optimierung von Betriebsabläufen
– zeitweises Mindern der Versorgungszuverlässigkeit bei Arbeiten an Betriebsmitteln
– Wiederherstellen oder Sichern der Versorgung nach Störungen, erfordern vom Wartenpersonal folgende Arbeitsinhalte und -abläufe

– Erfassen und Auswerten von Informationen
– Planen und Entscheiden einer Bearbeitungsstrategie
– Durchführen bzw. Anweisen geeigneter Maßnahmen
– Erfolgskontrolle, gegebenenfalls Informationsweitergabe.

Dabei soll das Automatisierungssystem eine deutliche Entlastung für den Dispatcher darstellen.
Größtmögliche Unterstützung kann hierbei ein Simulator bieten, der es gestattet, vor der Ausgabe einer Zustandsänderung an den technischen Basisprozeß diese an den Simulator zu geben, um so Auswirkungen auf das Verhalten des Prozesses prüfen zu können.
Die internationalen Entwicklungen zeigen, daß

– die Prozeßleittechnik die Grunddatenverarbeitung, d. h. die Anzeige des Schaltzustandes, die Anzeige und Anwahl von Parametern, übernimmt (das Gebiet ist weitgehend geklärt)
– abgegrenzte Aufgabenkomplexe innerhalb eines modularen Aufgabenrahmens als Auskunfts-, Ratgeber-, Frage-/Antwort- und neuerdings auch Expertensysteme ausgeprägt werden.

Für das nachfolgend aufgezeigte Aufgabenspektrum wurde ein Last-Management-System [1] bis [3] entwickelt, das anschließend beschrieben werden soll.

2. Last-Management-System

Diesem Softwaresystem liegt ein Lösungskonzept zugrunde, das es gestattet, aufbauend auf den elementaren Betriebsführungsfunktionen (Erfassen und Bereitstellen der Prozeßdatenbasis) in zunehmendem Maße Anwenderprogramme, die mit dieser Datenbasis (oder Teilen von ihr) korrespondieren, in die Lastführung einzubeziehen.
Auf der Basis anwenderfreundlicher *Interaktion mit Grafikunterstützung* sind Netzbelastungen anwählbar und in ihrer

---

Prof. Dr. sc. techn. *Ingo Neumann* (44) studierte von 1961 bis 1966 Elektromotorische Antriebe an der TH Ilmenau. Von 1967 bis 1976 Tätigkeit im VEB Elektroprojekt und Anlagenbau Berlin und im VEB Verbundnetz-Elektroenergie Berlin. Seit 1976 an der TH Leipzig, Sektion Elektroenergieanlagen. Von 1976 bis 1982 wissenschaftlicher Assistent bzw. Oberassistent. 1978 Promotion A und 1981 Promotion B. 1982 Berufung zum Hochschuldozenten und 1985 zum o. Professor für Elektroanlagengestaltung.

Dr.-Ing. *Ingrid Heinrich* (39) studierte von 1966 bis 1971 an der TH Karl-Marx-Stadt Maschinenbau mit Vertiefung EDV. Danach an der Sektion Mathematik und Rechentechnik der TH Leipzig, der Sektion Elektroenergieanlagen der IHS Leipzig und im VEB Starkstromanlagenbau Leipzig-Halle, F/E-Abteilung, tätig. Jetzt wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Sektion Elektroenergieanlagen der TH Leipzig. 1984 Promotion A.

Belastungsgröße quantitativ bewertbär. Damit ist die Grundlage für eine energieökonomische Betriebsführung elektroenergetischer Prozesse der öffentlichen und industriellen Energieversorgung (Lastdisposition) gelegt.

Komfortable Methoden der Belastungsdatenspeicherung gestatten eine sehr umfangreiche, aber trotzdem nutzerfreundliche Datenmanipulation und dadurch sehr universelle Einsatzmöglichkeiten in Planung, Projektierung und Betrieb von EES.

Mit dem Last-Management-System sind folgende Aufgaben bearbeitbar:

Entscheidungssituation	Ratgebermodus mit Angabe	Bestätigungsmodus mit Überprüfung
Knoten- bzw. Abnehmerbelastung zu wählbaren Zeitpunkten	quantitative Risikowerte	Einhaltung definierter Risikobereiche
Wahl situationsabhängiger Risikogrenzen für Abnehmer- bzw. Knotenbelastungen	Lastbereiche entsprechend Risikogrenzen	Sollbereichseinhaltung
Sichtung und Änderung bzw. Erweiterungen von Belastungsdaten/Tagebuchfunktionen	zeitpunktbezogene Verteilungsfunktionen der Abnehmerbelastung	Zugehörigkeit zum Wertebereich der Verteilungsfunktion
Betriebsmittelgrenzbelastungen zu wählbaren Zeitpunkten	quantitative Risikowerte	Risikowerte der zeitbezogenen Grenzbelastung
Wahl situationsabhängiger Risikoangaben zu wählbaren Zeitpunkten	zeitbezogener Lastfreibetrag zur Grenzlast	Freibetrag zu vorgegebenen Grenzwerten
Betriebsmittelüberlastungen mit zugehöriger Risikoangabe	Überlastungszeitbereich	Überlastdauer

Für dieses Aufgabenspektrum können situationsabhängig in

- Schwach- und Normallast-Bereichen
- Grenzlast-Bereichen
- Überlast-Bereichen

folgende Dispatchertätigkeiten durchgeführt werden:

- weitgehend wählbare Interaktion
- Lastdisposition
- Datenmanipulation
- optimale Entscheidungsaufbereitung.

Die softwareseitige Umsetzung dieses Spektrums erfolgt in der Programmiersprache PASCAL streng nach dem Modulkonzept. Dabei werden die einzelnen Aufgaben als abgegrenzte, universell nutzbare Module mit einer einheitlichen Schnittstellendefinition realisiert. Die Programmsynthese kann dann entsprechend den Nutzerwünschen leicht mit einem dialogfähigen Rahmen durchgeführt werden.

Die Datenbasis ist getrennt von den Anwenderprogrammen realisiert. Sehr vorteilhaft sind hierbei die zur Verfügung stehenden Möglichkeiten der Definition anwenderspezifischer Datenstrukturen, aufbauend auf elementaren Strukturen. Die Aufbereitung der Datenobjekte erfolgt mit Merkmalen und Merkmalswerten (Vorbereitungsarbeiten für den späteren Ausbau einer Faktenbasis).

Das System zeichnet sich durch eine übersichtliche und einfache Programmstruktur aus. Es ist unkompliziert erweiterbar. Bei nicht oder schwach ausgebauter Prozeßdatenbasis werden statistische Werte genutzt, die mit den angebotenen Manipulationsmöglichkeiten des Programmes leicht korrigiert werden können. Der Bediengraph für dieses System ist im Bild 1 angegeben.

3. Strategie der Entwicklung eines Expertensystems zur Lastführung in EES

3.1. Konzeption des Lösungsvorschlages

Prinzipiell besteht ein Expertensystem aus den Grundkomponenten

- Fakten- und Regelbasis
- Dialogsystem

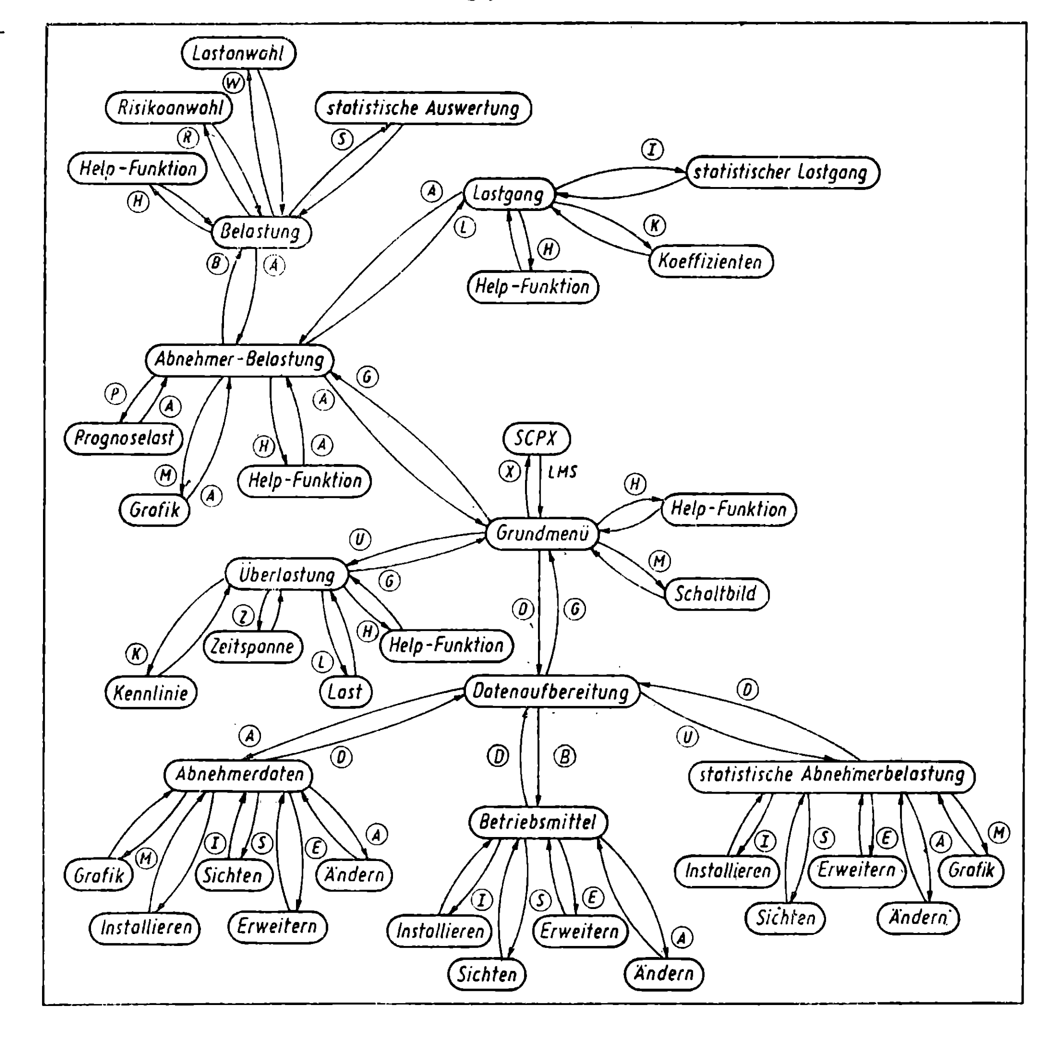


Bild 1. Bediengraph Last-Management-System in EES

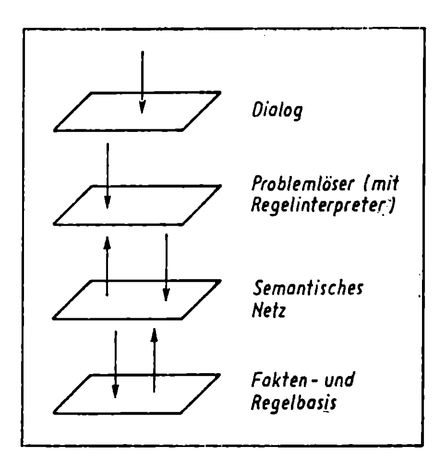


Bild 2. Komponenten eines Expertensystems mit semantischem Netz

– Problemlöser
– semantisches Netz
– Rückerklärungskomponente.

Dazu gilt generell, daß Programme zum Füllen, Ändern, Erweitern der o. g. Programmsysteme bzw. Datenbereiche erforderlich sind.
Die Aktualisierung der Fakten- und Regelbasis erfolgt über ein Programmsystem zur Rechner-Rechner-Kopplung. Hierbei erfolgt eine Kopplung eines Prozeßdatenerfassungsrechners mit dem Lastführungsrechner. Je nach den verwendeten Sprachkonzepten

– PASCAL für eine prozedurale Notierung
– LISP für eine funktionale Notierung
– PROLOG für eine logische Notierung

bzw. Wissensrepräsentationssprachen

– OPS 5 oder OPS 83

bzw. Shells, z. B. EXPERT, APES,
wird eine unterschiedliche Aufbereitung des Problemkreises erfolgen. Daher sollen zwei Vorgehensweisen skizziert werden.

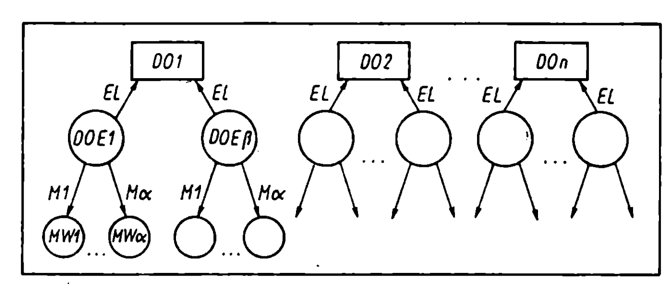
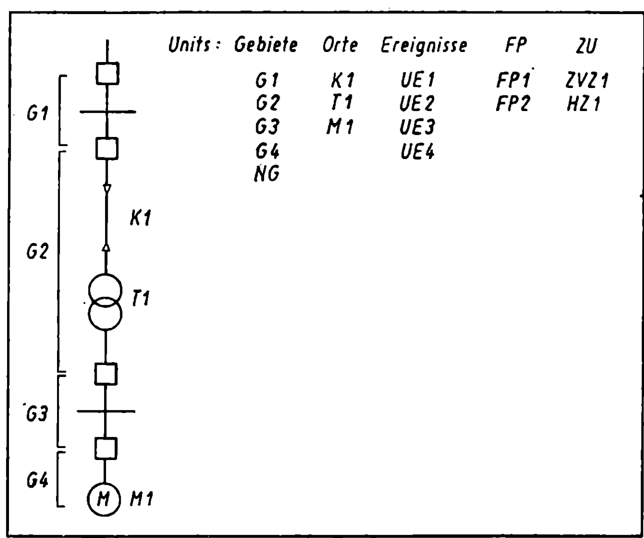


Bild 3. Prinzipbild Zusammenspiel Problemlöser — semantisches Netz
DO Datenobjekt; DOE Datenobjektelement; EL Element; M Merkmal; MW Merkmalswert

Bild 4. Beispiel



3.2. *Gemischtes Prozedur-Regel-Konzept*

Diese Vorgehensweise soll am Beispiel erläutert werden: Es liegt ein Prozedurreservoir aus dem Aufgabenumfang des Last-Management-Systems vor.
Dazu werden Regeln nach folgendem Muster aufgebaut und formuliert:

1. IF Bedingung 1 ∧ ∨ Bedingung 2 ... THEN Prozedur 1
2. IF Prozedur 1 ∧ weitere Bedingung THEN Prozedur X

.
.
.

3. IF Prozedur $m - 1$ ∧ ... THEN Grundmenü
ENDE.

Durch die bereits zukunftsorientierte Form der Datenabspeicherung (Faktenbasis) und dem bewußten, konzentrierten Einsatz von Regeln sowie die Nutzung bewährter Prozeduren entsteht ein Problemlösungsprozeß, der der Expertensystemarbeitsweise auf elementarem Niveau entspricht.
Dieser Typ von Expertensystemen ist auch unter dem Namen „Expert Assistent System" in der Literatur bekannt. Hierbei übernimmt der Dispatcher (Experte) wesentliche Anteile am

– Problemformulierungsvorgang
– Abstraktionsvorgang
– Interpretationsvorgang.

Durch die Nutzung von Deduktionsprogrammen kann eine überproportionale Verbesserung der Anfragenbeantwortung erreicht werden, wobei Ausgabekonvertierungen bereits angepaßte Dialoge ermöglichen.
Die Vorteile dieser Vorgehensweise liegen in

– der schnellen Realisierbarkeit (prototyping)
– der Nutzung bereits vorhandener, fehlerfreier, bewährter Programme (Prozeduren)
– einer Eigenqualifizierung des Bearbeiterkollektivs auf dem Fachgebiet
– einer flexiblen Auswertung von explizit und implizit formuliertem Wissen.

Eine Vielzahl von Sprachkonzepten ermöglicht die Auswertung von Regeln, weniger die Auswertung von Frames und semantischen Netzen.

3.3. *Konzept mit Nutzung von semantischen Netzen, Regeln und Prozeduren*

Dieses Konzept ist, wie im Bild 2 angegeben, untersetzt. Da zur Dialogkomponente, zur Fakten- und Regelbasis bereits einiges gesagt wurde, soll im folgenden die Zusammenarbeit des Problemlösers mit dem semantischen Netz detaillierter beschrieben werden:

– Der Problemlöser wird z. B. durch eine Anfrage gestartet. Durch Analyse der Fragenstruktur sucht er die Datenobjektmenge des Interesses.
– Das Datenobjekt enthält i. allg. mehrere Elemente, die entweder durch die Fakten, die in der Frage enthalten sind, extrahiert werden, oder durch Rückfrage im Dialog ausgewählt werden.
– Von jedem Element gehen gemäß Bild 3 Kanten ab, die mit Merkmalen bewertet sind.
– Der der Kante folgende Knoten ist mit einem Merkmalswert oder einem Vektor von Merkmalswerten bewertet.
– Durch Äquivalenzrelationen oder Datenobjektmengen werden Relationen notiert, die im Realisierungssystem durch Deduktionsmechanismen erschlossen werden können.

Zur Detaillierung des o. g. Prinzipbildes (Bild 3) soll Bild 4 herangezogen werden, das einen Ausschnitt aus einem Beispielnetz repräsentiert. Betrachtet wird der dargestellte Netzabschnitt. Entsprechend prozeßanalytischen Tätigkeiten erfolgt eine Einteilung dieses Netzabschnittes nach Gebieten, in denen definierte nichterwünschte Ereignisse (UE) auftreten können. Fähigkeitspakete, die das Beheben möglicher Wirkungen des definierten nicht erwünschten Ereignisses gewährleisten, sind desweiteren diesen Gebieten zugeordnet.

Nun können durch die angegebene einfache Notierungsform die Datenobjekte wie folgt beschrieben werden:

G 1:	UE 1:
self: (Element-of-Gebiete)	self: (Element-of-Ereignisse)
Ort: S 1	Gebiet: G 1
Ereignis UE 1	Art: Kurzschluß 3polig
Fähigkeitspaket: FP 1	Dauer: 0,8 s

Das Zusammenspiel des Problemlösers mit dem semantischen Netz bei Auftreten eines 3poligen Kurzschlusses (UE 1) im Gebiet G 1 zeigt Bild 5.

Das semantische Netz kann statt eines Merkmalswertes auch einen Programmnamen (Prozedur) enthalten, was den Problemlöser veranlaßt, diese Prozedur aufzurufen und die dabei entstehenden Ergebnisse als Merkmalswerte zu interpretieren. Der Problemlöser sucht in Abhängigkeit von der Fragestellung automatisch oder unterstützt durch Rückfragen an den Experten einen oder mehrere Wege im semantischen Netz, die zur gesuchten Antwort führen (Fakten, die die Antwort repräsentieren). Diese Wege werden abgespeichert und der Rückerklärungskomponente als Faktenwissen zur Verfügung gestellt.

Durch die laufende Arbeit des Experten mit dem Problemlöser und dem semantischen Netz, das auf die Faktenbasis (Merkmale, Merkmalswerte, Relationen) zugreift, können weitere Relationen erschlossen und in das Netz eingefügt werden.

Damit wird es möglich, ein Expertensystem mit relativ geringem Startwissen im normalen Arbeitsregime zu höherem Leistungsvermögen zu führen.

Im Expertensystem Lastführung in EES bilden drei Grundmodelle die Basis für die Gestaltung des semantischen Netzes:

- Zustands-Ereignis-Modell [6] bis [8]
- Belastungsganglinien-Modell [4]
- Lastflußberechnungs- und -optimierungsmodell [5].

Ein Elektroenergiesystem ist für die Versorgung seiner Abnehmer i. allg. durch eine Menge möglicher Schaltzustände klassifizierbar. Ausgehend von einer definierten Menge möglicher Ereignisse wird durch gezielte Ereignis-Zustands-Simulation die Zustandsanalyse bezüglich eines definierten Abnehmerbestandes durchgeführt. Ergebnis ist hierbei eine zuverlässigkeitsmäßige Bewertung der einzelnen Schaltzustände des EES [6].

Neben der Struktur des EES hat das Verhalten der Abnehmer, die nach qualitativen und quantitativen Anforderungen zu versorgen sind, zentrale Bedeutung.

Je nach vorhandenem Informationsumfang werden die Belastungsgrößen determiniert oder stochastisch über der Zeit mit einem einheitlichen Modellapparat abgebildet [4].

Anhand der vorliegenden Lastsituation und des zu beurteilenden Schaltzustandes eines Netzes werden dem Dispatcher die Lastflüsse und Spannungen der interessierenden Netzabschnitte durch Anwahl eines Lastflußberechnungsprogramms angeboten. Damit ist es möglich, bei auftretenden unerwünschten Überlastungen optimale Entscheidungen zu ihrer Behebung zu treffen [5].

Die Vorteile des Systems bestehen zum einen in den breitgefächerten Nutzungsmöglichkeiten je nach vorliegendem Aussagemodus (Ratgeber oder Bestätigung) entsprechend [1] und zum anderen in der weitgehenden Entlastung des Experten von formalen Rechnermanipulationen (Programmstart usw.). Der Experte wird lediglich zur Rückfragenbeantwortung vom System herangezogen.

4. Abschließende Bemerkungen und weiterführende Aufgaben

Die Realisierung des vorgestellten Konzeptes erfordert aus Gründen der Rechenzeit sowie der für die Speicherung der Datenbasis erforderlichen Speicherplatzgröße Rechner des XT/AT-Standards.

Für den etappenweisen Auf- und Ausbau und zur Detailklärung des zu beschreibenden Weges bei der Entwicklung von Expertensystemen für abgegrenzte Aufgaben, durch die ein ingenieurpraktischer und ein ökonomischer Nutzen entsteht, erscheint nach bisherigen Erfahrungen folgender Weg durchaus sinnvoll:

1. Entwicklung und Realisierung eines Ratgebersystems auf dem abgegrenzten Gebiet der angeforderten Problemlösung
2. Auswertung der Arbeitsweise des Experten mit derartigen Systemen und besonders tiefgründige Analyse der Fragestellungen des Experten (Dispatcher) und der Probleme des Ratgebersystems in der flexiblen Reaktion auf diese Fragestellungen
3. Eliminierung von Problemen durch Einsatz eines gemischt prozeduralen-regelorientierten Expertensystems
4. Wissensermittlung (Formulierung der Regeln und der Fakten sowie Relationen) parallel zum Prozeß der Arbeit des Experten mit einem Expertensystem mit geringem Startwissen, jedoch Vorhandensein aller Komponenten
5. Implementierung von weiteren Problemlösern und gezielte Segmentierung der Fakten- und Regelbasis zur Sicherung einer geforderten Such- und Problemlösungsökonomie bei definierten Deduktionstiefen.

Weiterführende Aufgaben sind:

- Nutzung von effektiven Wissensrepräsentationssprachen bzw. Shells für die Aufgabenrealisierung
- Einsatz von Parsertechniken in der Dialogführung auf Fachsprachenniveau
- umfassende Nutzung von grafischen Ein- und Ausgaben, einschließlich der Nutzung problemspezifischer Kursormanipulationen (z. B. Fragezeichen-Kursor, Kursorsymbole zur Darstellung von Ereignissen, wie Kurzschluß, Überlast)
- Kopplung mit Datenerfassungseinrichtungen, die weitgehend fehlerbereinigte Datensätze bereitstellen müssen.

Es hat sich als zweckmäßig erwiesen, bereits prinzipielle Lösungen für Lehr- und Trainingszwecke auf vorhandener 8-bit-

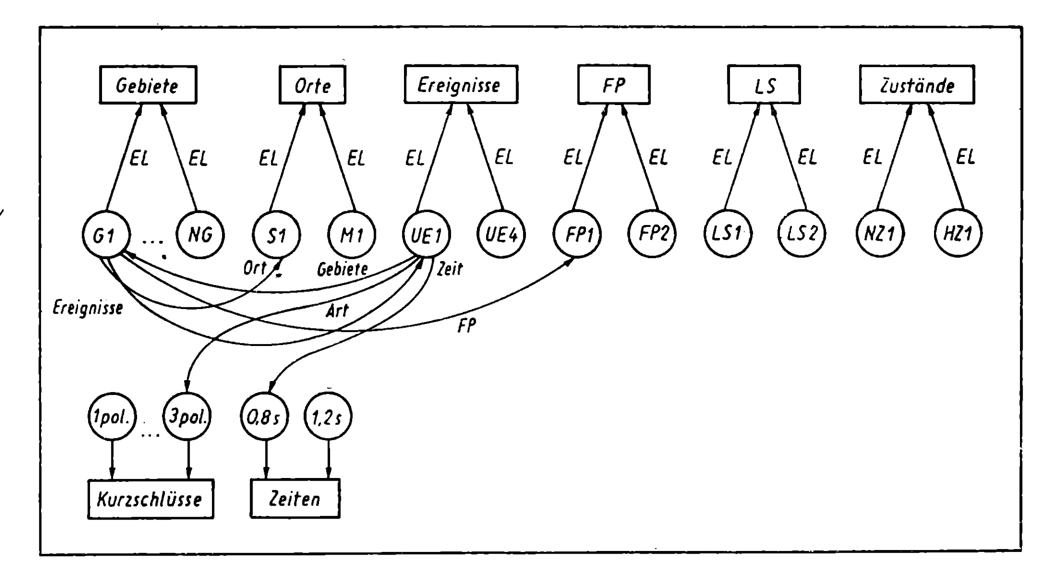


Bild 5. Zusammenspiel Problemlöser — semantisches Netz bei Auftritt des UE 1 im Beispiel

Technik zu implementieren, um die Experten für die Bereitstellung von Wissen zu trainieren. Damit wird ein Qualifikationsprozeß eingeleitet, der sich in späteren Arbeitsphasen positiv auswirkt (Qualität und Verbindlichkeit der Regeln und Fakten, Homogenität der Regelbasen, Schaffung aussagefähiger Relationen im semantischen Netz, die kurze Suchwege bei der Problemlösung ergeben).
Bei dem heute vorliegenden Erkenntnisstand in der Anwendung von Programmier- und Wissensrepräsentationssprachen sowie Shells zur Erstellung von Expertensystemen liegt der Schwerpunkt der kreativen Ingenieurarbeit auf dem Gebiet der Problemanalyse, Spezifikation der abgegrenzten Aufgaben und einer effektiven Wissenserwerbsstrategie (bereits in Problemanalyse vorbereitet). Das sind jedoch schwerpunktmäßig Aufgaben der jeweiligen Fachdisziplinen, die sich diesen Herausforderungen mit effektiven und systematischen Methoden und Modellen stellen müssen.

Literatur

[1] *Heinrich, I.; Neumann, I.:* Last-Management-System für Elektroenergiesysteme. Informationsblatt zur Leipziger Frühjahrsmesse 1987. TH Leipzig, Sektion Elektroenergieanlagen.

[2] *Heinrich, I.:* Last-Management-System für Elektroenergiesysteme. Technische Dokumentationen zur Leipziger Frühjahrsmesse 1987. TH Leipzig, Sektion Elektroenergieanlagen.

[3] *Heinrich, I.:* Software zur Modellierung, Simulation und Bewertung von Belastungsverläufen in Elektroenergiesystemen. Lizenzofferte 7/86. TH Leipzig, Sektion Elektroenergieanlagen.

[4] *Heinrich, I.:* CAD-System zur mikrorechnerunterstützten Lastführung in EES. Elektrie, Berlin 40 (1986) 11, S. 430–431.

[5] *Al-Fakih, N.:* Lastflußermittlung und -manipulation beim Auftreten von unerwünschten Ereignissen in EES. Wiss.-techn. Bericht WTB-SEA-17/86, TH Leipzig, Sektion Elektroenergieanlagen.

[6] *Scigalla, P.:* Rechnergestützte Spezifikation von leittechnischen Einrichtungen auf Zustandsgrafenbasis. Wiss.-techn. Bericht WTB-SEA-5/87, TH Leipzig, Sektion Elektroenergieanlagen, Lehrstuhl Elektroanlagengestaltung.

[7] *Böhme, B.; Neumann, I.:* Prozeßanalyse komplexer Systeme für den Entwurf von Echtzeitsoftware. msr, Berlin 30 (1987) 2, S. 82–89.

[8] *Neumann, I.; Prachownik, A.:* Lernfähige Zustandsidentifikation in der Prozeßleittechnik von EES. Wiss. Zeitschrift der TH Leipzig (1986) 6, S. 371–378.

[9] *Jann, N.:* Situationserkennung und Klassifizierung in EES. Wiss.-techn. Bericht WTB-SEA-27/86, TH Leipzig, Sektion Elektroenergieanlagen.

[10] *Neumann, K.:* Entwurf und Applikation von Merkmalsklassifizierungsstrategien in Expertensystemen in EES. Wiss.-techn. Bericht WTB-SEA-23/86, TH Leipzig, Sektion Elektroenergieanlagen.

[11] *Neumann, I.:* Prozeßleittechnik in industriellen Elektroenergiesystemen. Energietechnik 35 (1985) 10, S. 391–396.

[12] *Heinrich, I.:* Interaktive Expertensysteme zur Lastführung von EES unter Datenrestriktionen. Wiss.-tecnn. Bericht WTB-SEA-2/86, TH Leipzig, Sektion Elektroenergieanlagen.

msr 8739

K.-H. Rauchhaus; G. Reinemann; W. Weiß; J. Briesovsky

Expertensysteme für die rechnergestützte Projektierung verfahrenstechnischer Anlagen

0. Einleitung

Die Projektierung technologischer Anlagen der stoffwandelnden Industrie ist dadurch gekennzeichnet, daß rechnergestützte Arbeitsweisen in immer stärkerem Umfang zur Anwendung gelangen. Mit der Bereitstellung hochentwickelter Rechentechnik einschließlich von Arbeitsstationen der künstlichen Intelligenz (KI) ergeben sich weitere neue Möglichkeiten für die Bearbeitung von Projektierungsaufgaben, z. B. in Form der Expertensysteme. Es ist bekannt, daß für den technologischen Entwurf einer Anlage umfangreiches Expertenwissen erforderlich ist und in erfahrenen Projektierungseinrichtungen auch zur Verfügung steht. Eine Aufbereitung des Wissens bis zur computergestützten Nutzung ist bisher kaum erfolgt.
Weiterhin ist bekannt, daß mit der Festlegung der apparativen und der technisch-technologischen Parameter sowie der Struktur einer Anlage ganz entscheidend deren dynamisches, Stabilitäts- und Sensibilitätsverhalten bestimmt wird, d. h., Entscheidungen im Stadium des technologischen Entwurfs und der Anlagenprojektierung beeinflussen zumindest implizit die erforderlichen Entscheidungen zur Prozeßsteuerung. Hieraus leiten sich weitere Forderungen an die Dimension der Wissensbasis eines Expertensystems „Prozeßsteuerung" ab. Schwerpunktmäßig wird jedoch im Beitrag die Aufbereitung und Nutzung des Wissens im Prozeß der Projektierung verfahrenstechnischer Anlagen dargestellt.

1. Erfordernisse und Möglichkeiten zur Anwendung von Expertensystemen

Die generellen Forderungen zur Verkürzung der Entwicklungs- und Überführungszeiten für neue Technologien und Verfahren bzw. Erzeugnisse in neuen Dimensionen sind mit „klassischen" Methoden des Problemlösens kaum noch zu erfüllen. Neben dem Zeitfaktor gibt es weiterhin hohe Anforderungen an die Leistungsparameter einer Anlage bezüglich der stofflichen Veredlung und der Energiewirtschaft. In immer stärkerem Umfang spielt das sicherheitstechnische Verhalten einer Anlage eine signifikante Rolle. Diese neuen Anforderungen zwingen objektiv zu neuen Problemlösungsstrategien. Aufgrund der gegenwärtigen und künftig weiterhin ansteigenden Leistungsfähigkeit der Computertechnik bieten sich nunmehr auch neue Möglichkeiten zur Erreichung dieser Zielstellungen, indem Komponenten der „künstlichen Intelligenz" zur Anwendung gelangen.
Der Entwurf einer verfahrenstechnischen Anlage ist ein komplexer, arbeitsteiliger Prozeß. Mit der Verfahrensbewertung und der verfahrenstechnischen Auslegung als den der Projektierung vorgelagerten Stufen werden Wirkprinzipien und Funktionen einer Anlage bestimmt. In der sich anschließenden Phase der Anlagenprojektierung erfolgen

- die Komplettierung der verfahrenstechnischen Auslegung
- die Auswahl der Ausrüstungen
- die Aufstellungsplanungen
- die Detaillierung der Planung für Ausrüstungen, Rohrleitungen, Bau-, Elektro- und BMSR-Technik [1].

Beim Entwurf und der Projektierung technologischer Anlagen der stoffwandelnden Industrie nehmen die Auswahlprozesse hinsichtlich der erforderlichen Bearbeiterkapazität und der Ergebniswirksamkeit eine dominierende Stellung ein, wobei die praktische Realisierung durch

- einen permanenten Zeit- und Bearbeitermangel
- die Bezugnahme auf lückenhafte und/oder unscharfe Informationsbestände

Dr. rer. oec. *Karl-Heinz Rauchhaus* (50) durchlief nach einer Lehre zum Chemiefacharbeiter von 1954 bis 1957 ein Fachschulstudium und von 1957 bis 1962 ein Hochschulstudium in Ingenieurökonomie. Seit 1962 als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der TH „Carl Schorlemmer" Leuna-Merseburg, bis 1972 an der Sektion Wirtschaftswissenschaften, seither im Rechenzentrum. 1966 Promotion A.

Dr.-Ing. *Günter Reinemann* (45) studierte von 1961 bis 1966 Verfahrenstechnik an der TH „Carl Schorlemmer" Leuna-Merseburg (THLM). Von 1970 bis 1978 Bereichsleiter für Prozeß- und Mikrorechentechnik im ORZ der THLM. 1971 Promotion A. Von 1978 bis 1983 Leiter des ORZ. Seit 1983 stellv. Direktor des Rechenzentrums der THLM und Oberassistent.

Prof. Dr. sc. techn. *Wolfram Weiß* (42) studierte von 1964 bis 1968 an der TH „Carl Schorlemmer" Leuna-Merseburg (THLM) Verfahrenstechnik, dem sich ein 6monatiges Zusatzstudium Regelungstechnik an der TH Ilmenau anschloß. 1972 Promotion A. Von 1975 bis 1976 einjähriges Zusatzstudium am Leningrader Technologischen Institut. 1980 Promotion B. Von 1981 bis 1983 Abteilungsleiter Prozeßsteuerung in der chemischen Industrie. 1983 Berufung zum Hochschuldozenten, 1985 zum o. Professor an die THLM. Dort Direktor des Rechenzentrums.

Dozent Dr.-Ing. *Johannes Briesovsky* (46) studierte von 1961 bis 1966 Chemiemaschinen- und Apparatebau am Leningrader Technologischen Institut „Lensowjet". Dort bis 1970 Aspirantur und Promotion A. Von 1970 bis 1971 Oberassistent an der TH „Carl Schorlemmer" Leuna-Merseburg (THLM). Von 1971 bis 1984 zunächst Hauptabteilungsleiter Forschung im GFZ Chemieanlagen, dann Projektierungsleiter im VEB Komplette Chemieanlagen Dresden. 1984 Berufung zum Hochschuldozenten für Anlagentechnik am gleichnamigen WB der Sektion Verfahrenstechnik der THLM.

Tafel 1. Beispiele für Fakten- und Regelwissen

Faktenwissen	Regelwissen
– (anerkannte) Algorithmen (Modelle) für . Berechnung . Auswahl . Bewertung . Optimierung – Vorschriften . Standards . Richtlinien – Daten . Medien . Ausrüstungen . Technologien . räumliche Gebilde . Organisation, Administration – Ökonomie usw.	– Regeln für . Auswahl . Bewertung . Strukturierung . Funktionssicherung . Entscheidung – Gestaltungsregeln für räumliche Anordnungen – Regeln für Variantenerzeugung und -einengung (gezielte Suche, morphologische Schemata u. ä.) – Problemlösungsstrategien

Tafel 2. Ausgewählte Beispiele der Wissensbasis „Projektierung von Wärmeübertragern"

Bearbeitungsetappe	Faktenwissen	Regelwissen
Festlegung des Wärmeträgermediums und des Wärmeübertragungsprinzips	Stoffdaten der Kühl- und Heizmedien	Wenn das Heiz(Kühl)mittel mit dem aufzuheizenden (abzukühlenden) Medium verträglich ist, dann kann Direkt(Misch)wärmeübertragung realisiert werden.
Auswahl der Rekuperatoren	– Technologische Parameter des Verfahrens – Verschmutzungsgrad der Medien – Sedimentationsverhalten der Schwebstoffe im Kühl- bzw. Heizmedium	– Wenn spezifisch große Übertragungsflächen je Raumeinheit gefordert werden, dann ist Rohrbündelwärmeübertragern (RWÜ) der Vorzug zu geben. – Wenn gute Reinigungsmöglichkeiten für beide Medien gefordert werden, sind Plattenwärmeübertrager einsetzbar.
Medienführung im RWÜ	Verschmutzungsgrad	Wenn verschmutzte Medien zu Ablagerungen neigen, dann sind diese in den Rohren des RWÜ zu führen bzw. ist die Strömungsgeschwindigkeit zu erhöhen.
Aufstellungsplanung von RWÜ	Daten des Baufeldes	Wenn die Aufstellungsfläche begrenzt ist, dann ist vertikaler Aufstellung bzw. Blockaufstellung mehrerer RWÜ übereinander der Vorzug zu geben.

– sehr unterschiedliche, stark subjektiv betonte Vorgehensweisen der einzelnen Bearbeiter

geprägt ist.

Die technisch-konstruktive Gestaltung der Verfahrensschritte, die Zuordnung und Gestaltung der Hilfsprozesse sowie die Berücksichtigung montage-, instandhaltungs- und sicherheitstechnischer Gesichtspunkte führen im Ergebnis zum Montageschema, zu Datenblättern sowie zu Aufgabenstellungen für die Detailplanung.

Auch wenn in der Projektierung u. a. auf Kataloge vorhandener (lieferbarer) Einzelausrüstungen zurückgegriffen werden kann, ist in der Entscheidung, z. B. für eine spezielle Ausrüstung, das Wissen und die Erfahrung der Projektanten von signifikanter Bedeutung, zumal die Probleme der Zuordnung Funktion—Funktionsträger (Ausrüstung) oder der räumlichen Gestaltung als Zuordnung Objekt—Platz mit numerischen Methoden der Bewertung und Optimierung zwar unterstützt, aber nicht vollständig gelöst werden können.

Verallgemeinernd kann eingeschätzt werden, daß in der Anlagenprojektierung in immer stärkerem Maße die Anwendung von deklarativem Wissen (Fakten- und Algorithmenwissen), Regel- und Kontrollwissen realisiert werden muß.

Die Tafeln 1 und 2 vermitteln einen Überblick über ausgewählte Beispiele der Wissensbasis der Anlagenprojektierung.

Auch wenn zum gegenwärtigen Zeitpunkt die Teilprozesse der Anlagenprojektierung einer umfassenden Systematisierung und Vereinheitlichung bedürfen und die Wissensbasis insbesondere im Bereich des Regel- und Kontrollwissens gezielt auszugestalten ist, muß ohne Einschränkung die Nutzung von Expertensystemen in der Anlagenprojektierung gefordert werden.

Aufgrund der Dynamik des Wissensgebietes existiert gegenwärtig noch keine einheitliche und fundierte Theorie über Modelle, Methoden und Architektur von Expertensystemen. Den Autoren sind zu diesen Komplexen und ihren Wechselwirkungen in bezug auf die Anlagenprojektierung auch keine gesicherten Erkenntnisse bekannt. Dem eigenen Forschungskonzept wird der in [2] gemachte Vorschlag zur Architektur von Expertensystemen (Bild 1) zugrunde gelegt. Ähnliche Architekturen für Expertensysteme wurden von anderen Autoren vorgeschlagen, z. B. in [3].

Spezifische Anforderungen des Projektierungsprozesses an die verschiedenen Komponenten des Expertensystems bestehen z. B. beim Dialogmodul. Aufgrund der Arbeitsweise eines Projektanten und des hohen Anteils grafischer Endprodukte des Projektierungsprozesses ist generell in der Architektur von Expertensystemen für die Anlagenprojektierung der grafische Dialog zu gewährleisten. Das erfordert die Einbeziehung von speziellen Komponenten der Hardware und der Software in das Gesamtkonzept. Die Umsetzung der grafischen Informationen in geeignete rechnerinterne Darstellungen und ihre Bereitstellung für die weiteren Komponenten eines Expertensystems erfordern einen hohen Standardisierungsgrad der Software und die genaue Festlegung der Schnittstellen. Über erste Erfahrungen und Ergebnisse zum grafikorientierten Teil eines rechnergestützten Systems der Anlagenprojektierung wird in [4] berichtet.

2. Erste Erfahrungen bei der Entwicklung expertensystemähnlicher Softwareprodukte

Es wurde ein Programmodul entwickelt, der die rechnergestützte Auswahl konkreter Objekte aus baumartig strukturierten Objektklassen realisiert.

Die Wissensbasis dieses Unterstützungssystems besteht aus einer permanenten Komponente, deren Aufbau und Pflege privilegierten Anwendern vorbehalten ist, und aus einer temporären Komponente, die während des Auswahlprozesses vom aktuellen Systembenutzer aufgebaut wird und die nach der Beendigung des Auswahlprozesses im Prinzip nicht mehr zur Verfügung steht.

Hauptbestandteile des permanenten Teils der Wissensbasis sind die nach dem Owner-member-Prinzip organisierten Objekthierarchien und Aussagenverflechtungen (Bild 2). Objekthierarchien beschreiben die Gliederung von Objektklassen (z. B. Wärmeübertrager) in Unterklassen (z. B. Oberflächenwärmeübertrager, Direktwärmeübertrager) und konkrete Objekte (z. B. Doppelrohrwärmeübertrager, Rohrbündelwärmeübertrager oder Rohrschlangen). In typischer Baumstruktur hat jede

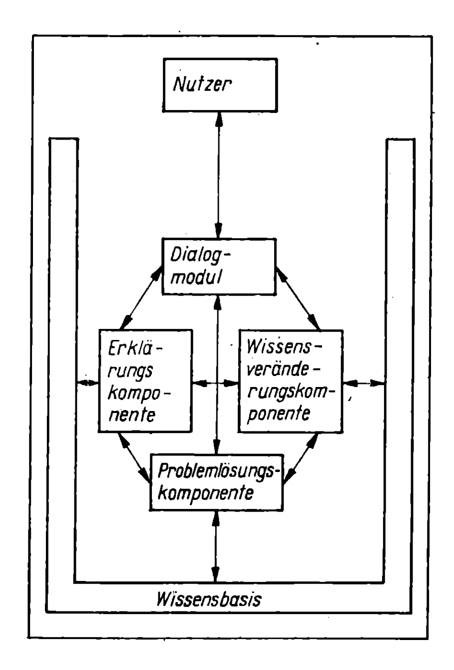


Bild 1. Architektur von Expertensystemen [2]

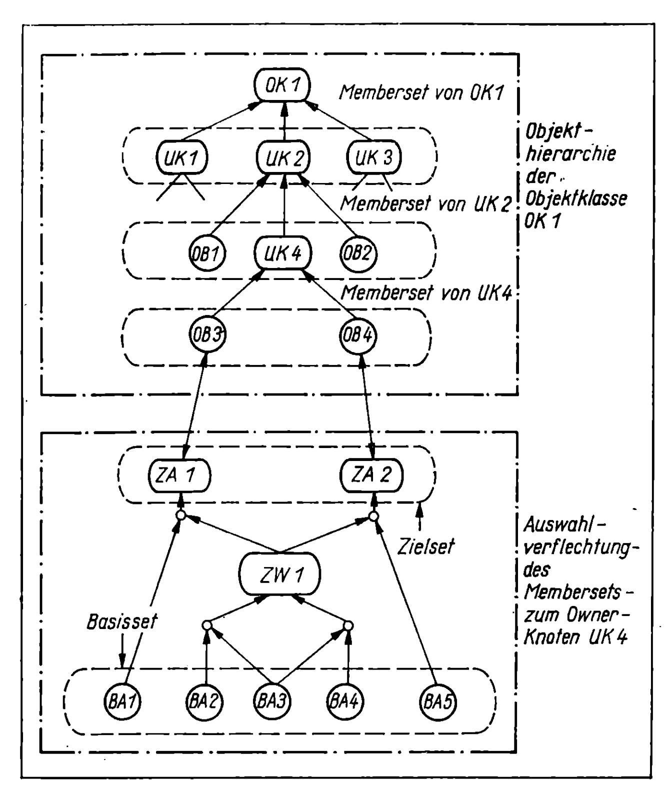


Bild 2. Owner-member-Struktur des permanenten Teils der Wissensbasis

OKi Objektklasse (Wurzelknoten); UKi Unterklasse (Zwischenknoten); OBi konkretes Objekt (Blattknoten); BAi Basisaussage; ZWi Zwischenaussage; ZAi Zielaussage

Objekthierarchie genau einen Knoten, der nur als Owner-Knoten auftritt (Wurzelknoten), n ($n > 1$) Knoten, die nur als Member-Knoten existieren (Blattknoten) und $m - (n + 1)$ (m Gesamtknotenanzahl der Hierarchie) Knoten, die sowohl Member- als auch Owner-Eigenschaften haben (Zwischenknoten). Die Menge der einem Owner-Knoten unmittelbar nachgeordneten Member-Knoten bezeichnet man als Memberset des Owner-Knotens.

Das Problem der Auswahl über solchen Objekthierarchien besteht praktisch darin, ausgehend von einem Owner-Knoten (meist der Wurzelknoten) in einem mehrstufigen Prozeß zu dem Blattknoten zu gelangen, der das anstehende Entwurfsproblem am besten löst. Für die computerrealisierte Steuerung dieses Auswahlprozesses ist es von Bedeutung, daß jeder Owner-Knoten genau einen Memberset hat und jeder Member-Knoten genau einem Memberset angehört. Die Anzahl der von einem Owner-Knoten ausgehenden Auswahlwege entspricht damit genau der Anzahl der Blattknoten des dazugehörigen Baumes bzw. Teilbaumes. Rechentechnisch läßt sich jede Objekthierarchie sehr einfach als 2stellige Relation mit jeweils einem Listenargument oder als Record-Typ mit wenigstens einem Set-Typ-Feld realisieren.

Die Aussagenverflechtungen der Wissensbasis sind ebenfalls nach dem Owner-member-Prinzip organisiert. Sie wurden jedoch im Unterschied zu den Baumstrukturen der Objekthierarchien als Netzstrukturen angelegt. Im Gegensatz zu den Baumstrukturen sind die Netzstrukturen der Auswahlverflechtungen insbesondere dadurch gekennzeichnet, daß

- mehrere Knoten mit „Nur-owner“-Eigenschaften existieren können
- jeder Owner-Knoten mehrere Membersets haben kann
- Member-Knoten existieren, die mehr als einem Memberset zuzurechnen sind.

Knoten einer Aussagenverflechtung, die nur als Member-Knoten in Erscheinung treten, werden als Basisaussagen bezeichnet. Ihre Gesamtheit bildet den Basisset der Aussagenverflechtung. Treten Knoten in einer Aussagenverflechtung nur als Owner-Knoten auf, bezeichnet man sie als Zielaussagen und faßt sie unter dem Begriff „Zielset“ zusammen. Zwischenaussagen sind dementsprechend Knoten, die sowohl als Member als auch als Owner auftreten.

Die Transformation einer gegebenen Basisset-Bewertung in eine entsprechende Zielset-Bewertung bildet den Gegenstand der Bearbeitung von Aussagenverflechtungen. Ihre Netzstruktur bedingt es, daß aus gleichen Basisset-Bewertungen unterschiedliche Zielset-Bewertungen hervorgehen können.

Rechentechnisch lassen sich Aussagenverflechtungen mit den gleichen sprachlichen Ausdrucksmitteln, die bei der Darstellung von Objekthierarchien verwendet werden, repräsentieren.

Der logische Ablauf der entwickelten Auswahlunterstützung basiert auf den informationellen Verbindungen, die zwischen den Objekthierarchien und den Auswahlverflechtungen bestehen. Diese Verbindungen werden im permanenten Teil der Wissensbasis in der Weise realisiert, daß für jeden Memberset einer Objekthierarchie ein entsprechender Zielset einer Aussageverflechtung mit gleichlautenden Elementbezeichnern existiert. Auf einer derartig strukturierten Wissensbasis verlaufen die einzelnen Auswahlprozesse rechnerunterstützt nach folgendem Grundmuster:

1. Der Anwender wird durch das System aufgefordert, die Klasse oder Teilklasse, über der der Auswahlprozeß zu führen ist, zu bezeichnen und über die alphanumerische Tastatur des Arbeitsplatzrechners einzugeben. In Abhängigkeit vom Bearbeitungsstand der Aufgabe, von den Kenntnissen und von den bisherigen Projektierungserfahrungen des Anwenders kann der Auswahlprozeß auf einer beliebigen Stufe der zutreffenden Objekthierarchie begonnen werden.
2. Durch einen einstufigen Rückverkettungsprozeß wird in der aktuellen Objekthierarchie der dem eingegebenen Klassen- bzw. Unterklassenbegriff zugeordnete Memberset aufgesucht und für die Weiterverarbeitung bereitgestellt. Da jedes Element dieses Membersets eine alternative Konkretisierungsvariante der unmittelbar übergeordneten Objektklasse repräsentiert, konzentriert sich die Bearbeitung des Membersets auf die Bewertung seiner Elemente und auf die Auswahl des am „besten“ bewerteten Elementes.
3. Die Bewertung der einzelnen Setelemente setzt zunächst das Vorhandensein eines entsprechenden Bewertungsmaßstabes voraus. Dem Nutzer wird deshalb nach der Bereitstellung eines Membersets die Möglichkeit gegeben, den bei der Elementbewertung anzulegenden Bewertungsmaßstab über die Tastatur als Bestandteil der temporären Komponente der Wissensbasis einzugeben (auch symbolische, nichtnumerische Bewertungselemente).
4. Da die Elemente des Membersets über die Bezeichnungswahl mit den Elementen des Zielsets der angekoppelten Aussagenverflechtung unifiziert worden sind, reduziert sich die Bewertung der Memberset-Elemente auf die Bewertung der Zielaussagen der zutreffenden Aussagenverflechtung. Da die Bewertung der Zielaussagen ihrerseits auf den bewerteten Basisaussagen der gleichen Aussagenverflechtung beruht, müssen letztere systemintern in einem mehrstufigen Rückverkettungsprozeß aus den Relationen bzw. Records der Wissensbasis extrahiert und dem Anwender nacheinander zur Bewertung angeboten werden.
5. Die Bewertung der Basisaussagen erfolgt grundsätzlich durch den Nutzer am Bildschirm. Die zu bewertenden Basisaussagen werden ihm dazu nacheinander durch das System angeboten. Der Anwender hat die Möglichkeit, bestimmte Unschärfen in die Bewertung der Grundaussagen einzubringen. Die bewerteten Grundaussagen bilden den zweiten Bestandteil der temporären Wissensbasiskomponente.
6. In dem sich anschließenden mehrstufigen Ableitungsprozeß werden die Bewertungen der Basisaussagen über verschiedene Zwischenaussagen so lange vorwärts verkettet, bis für jede der Zielaussagen eine Bewertungsgröße ermittelt worden ist. Die Relationen der Aussagenverflechtung bilden dabei die Grundlage für den Ablauf der Vorwärtsverkettung.
   Die Netzstruktur der Aussagenverflechtungen bringt es mit sich, daß während des Ableitungsprozesses nicht-

numerische Bewertungsgrößen sowohl konjunktiv als auch alternativ miteinander verknüpft werden müssen.

7. Mit der Zielaussagenbewertung liegt gleichzeitig die Bewertung der unmittelbaren Konkretisierungsvarianten einer Objektklasse bzw. -unterklasse vor, so daß es nicht schwer fällt, die bewertungsmäßig günstigste Auswahlvariante zu ermitteln. Wird die so ausgewählte Konkretisierungsvariante in der zugrunde liegenden Objekthierarchie durch einen Zwischenknoten repräsentiert, dann wiederholen sich die in den Punkten 2. bis 7. beschriebenen Abläufe für jeweils andere Membersets und Auswahlverflechtungen (ggf. auch unter der Verwendung anderer Bewertungsmaßstäbe und Verknüpfungstechniken).
8. Der in den Punkten 2. bis 7. skizzierte Ablaufzyklus wird so lange wiederholt, bis die am besten bewertete Konkretisierungsvariante einer Auswahlstufe in der Objekthierarchie als Blattknoten auftritt. An dieser Stelle wird der Auswahlprozeß zunächst beendet; das ausgewählte konkrete Objekt wird dem Anwender einschließlich der ermittelten Bewertungsgröße mitgeteilt.
9. Da über den Verlauf des gesamten Auswahlprozesses intern ein Protokoll geführt wird, besteht für den Anwender die Möglichkeit, sich nach der Ausgabe des Auswahlergebnisses auch den in der Objekthierarchie zurückgelegten Auswahlweg aufzeichnen zu lassen.
10. Obgleich die durch den Computer realisierte mehrstufige Auswahlverfeinerung der menschlichen Verhaltensweise bei der Bewältigung von Auswahlproblemen nahe kommt, wird es von verschiedenen Anwendern als Nachteil empfunden, daß bereits auf der ersten Auswahlstufe ein Teil der konkreten Objekte aus dem weiteren Auswahlprozeß ausgeschlossen wird. Um diese Vorbehalte weitgehend abzubauen, wurde ein Backtracking-Mechanismus installiert, der es dem Anwender gestattet, den Auswahlprozeß anhand des protokollierten Auswahlweges auf eine höhere (dem Wurzelknoten nähere) Auswahlstufe zurückzusetzen. Das Rücksetzverfahren (und damit der gesamte Auswahlprozeß) findet ein „natürliches" Ende, wenn die Menge der noch nicht analysierten Auswahlwege erschöpft ist; es kann aber auch durch externe Nutzereingabe zu jedem beliebigen Zeitpunkt abgebrochen werden.
11. Bei dem bisher vorgestellten Auswahlverfahren ist die auswahlsteuernde Bewertung der Elemente eines Membersets ausschließlich von der Bewertungssituation in der angekoppelten Aussagenverflechtung abhängig. Anwendern, denen diese lokale Betrachtungsweise für die Lösung ihres Auswahlproblems nicht ausreicht, haben die Möglichkeit, wahlweise über die Tastatur eine eingebaute Vererbungsstrategie zu aktivieren. Durch diesen Mechanismus werden die Knotenbewertungen des bisher zurückgelegten Auswahlweges in entsprechend abgeschwächter Form auf die Elemente des zur Bewertung anstehenden Membersets „vererbt".

Die vorgestellte Auswahlunterstützung, die teilweise Züge eines Expertensystems aufweist, wurde zunächst mit Hilfe der logischen Programmiersprache micro-PROLOG auf einem PC 1715 implementiert. Dabei zeigte sich jedoch sehr bald, daß die Kombination PC 1715 — micro-PROLOG für dieses Problem denkbar ungünstig ist, da sie zu unvertretbar hohen Verarbeitungszeiten führt.

Unter Ausnutzung spezifischer Hardwareeigenschaften (RAM-Diskette) und Sprachkonzepte (rekursive Definitionen, Mengenoperationen) wurde deshalb in TURBO-PASCAL eine Nachfolgeversion für den AC 7100 entwickelt. Diese Version läuft etwa 25mal schneller als die entsprechende PC 1715-Version in PROLOG, und sie gestattet eine sehr flüssige interaktive Arbeitsweise.

Das entwickelte Softwareprodukt hat den Charakter eines Rahmensystems, das für jedes Auswahlproblem angewendet werden kann, das sich auf die oben beschriebenen Objekthierarchien und Auswahlverflechtungen abbilden läßt.

Schlußfolgerungen und Konsequenzen

1. Anwendungen von Expertensystemen zur Unterstützung des Projektierungsprozesses haben gegenwärtig exemplarischen Charakter. Ein durchgängiger und befriedigender Einsatz sicherer Expertensysteme wird nicht vor Anfang der 90er Jahre erreicht werden.
2. Ein Hauptproblem bei der weiteren Entwicklung von Expertensystemen für den Projektierungsprozeß ist die Wissensrepräsentation. Eine notwendige und hinreichende Korrespondenz zwischen Funktionsmodell (Programm) und Datenmodell (Struktur, Wertebereiche, Abhängigkeiten und benutzerfreundliche Darstellungsformen der Daten und des Wissens) erfordert einerseits die sehr enge Zusammenarbeit zwischen Informatikern und Projektanten und andererseits die sehr enge Zusammenarbeit zwischen den „Experten" verschiedener Teildisziplinen der Informatik selbst. Dabei gewinnt der grafische Dialog zunehmend an Bedeutung.
3. Es setzt sich der Trend zur Anwendung der logischen Programmierung für Expertensysteme verstärkt fort. Dafür stehen gegenwärtig die Sprachen LISP, PROLOG und SMALLTALK zur Verfügung. Entsprechend der Größe und Komplexität der Software werden mit diesen Sprachen leistungsfähige Werkzeuge für die Programmentwicklung angeboten.
   Generell kann konstatiert werden, daß in den letzten beiden Jahren eine Reihe von Shells und PROLOG/LISP-Systemen für Personalcomputer erschienen sind, die einen Umfang von hundert bis zu einigen tausend Regeln schnell verarbeiten können [5] (in LISP geschriebene Programme benötigen dabei relativ viel Speicherkapazität). Diese Aussage ändert nichts an der Tendenz, daß komfortablere Entwicklungsumgebungen und Systeme nur auf leistungsfähiger Großrechentechnik installiert werden können.

Literatur

[1] *Klöditz, D.:* Dissertation B, IH Köthen 1986.
[2] *Raulefs, P.:* Methoden der Künstlichen Intelligenz. Übersicht und Anwendungen in Expertensystemen. Proceedings 12. GI-Jahrestagung. IFB Bd. 57. Berlin: Springer-Verlag 1982.
[3] *Feigenbaum, E. A.; Mc Corduck, P.:* The Fifth Generation: Artificial Intelligence and Japan's Computer Challenge to the World. Reading/MA: Addison-Wesley 1983.
[4] *Reinemann, G.; Briesovsky, J.; Weiß, W.:* Zur Gestaltung grafikorientierter rechnergestützter Ingenieurarbeitsplätze in der Anlagenprojektierung. Chem. Technik (eingereicht).
[5] Expert System Shells im Vergleich. CHIP (1986) 11, S. 204–209.

msr 8740

B. Böhme; D. Balzer; U. Starke

Expertensystem für die Produktionssicherung in einem Düngemittelwerk

0. Einleitung

Ungeachtet der ständig steigenden Leistungsfähigkeit moderner Prozeßsteuerungssysteme erweist sich die Realisierung höherer Automatisierungsfunktionen (wie dynamische Optimierung, komplexe Prozeßsicherung, operative Lenkung) in komplexen verfahrenstechnischen Systemen nach wie vor als außerordentlich problematisch. Für ihre Applikation wird deshalb sowohl auf Wartenebene (optimierende Prozeßführung) als auch auf der Leitebene (Produktionssicherung, operative Lenkung) entscheidungsbefugtes Personal (decision maker DM) eingesetzt. Der DM hat dabei in hohem Maße für die Lösung nicht vollständig formalisierbarer Aufgaben weitere Informationen zu erschließen und zu nutzen, widersprüchliche Informationen durch zweckentsprechende Interpretation zu vereinen und Steuerungen unter Berücksichtigung mehrerer meist kontradiktorischer Kriterien zu bewerten und umzusetzen.
Zur zielgerichteten Unterstützung des Menschen bei dieser anspruchsvollen Tätigkeit bieten sich rechnerunterstützte Entscheidungshilfen an, die in ihrer qualitativ höchsten Form wissensbasierte entscheidungsunterstützende Systeme (Expertensysteme) darstellen. Auf charakteristische Merkmale echtzeitfähiger Expertensysteme und ihre Integration in moderne Prozeßleittechnik sei hier allerdings nicht näher eingegangen. Diese Problematik wird im Zusammenhang mit den an sie gestellten typischen Anforderungen eingehend in [1] diskutiert. Nachfolgend sei die Implementierung eines Expertensystems für Aufgaben der Produktionssicherung in einem Düngemittelwerk bei plötzlich eintretenden oder längerfristig prognostizierten Dampfmangelsituationen dargestellt, wobei besondere Aufmerksamkeit der Formierung der Wissensbasis gewidmet wird. Als Expertensystem-Shell gelangt PROCON I zur Anwendung, das ausführlich in [2] und [3] beschrieben wird.

Dozent Dr. sc. techn. *Berndt Böhme* und Prof. Dr. sc. techn. *Dietrich Balzer* wurden bereits auf S. 530 dieses Heftes vorgestellt.

Uwe Starke (25) durchlief im VEB Synthesewerk Schwarzheide eine Lehre zum Facharbeiter für chemische Produktion. Von 1983 bis 1987 studierte er Technische Kybernetik und Automatisierungstechnik an der Sektion Automatisierungsanlagen der TH Leipzig, dort seit September 1987 Forschungsstudent.

1. Beschreibung des technologischen Systems

Betrachtet wird das im Bild 1 etwas vereinfacht dargestellte komplexe System eines Düngemittelwerkes.
Auf die Beschreibung der in den einzelnen Prozeßeinheiten ablaufenden chemisch-technologischen Vorgänge sei hier allerdings verzichtet. Sie sind in jedem Fachbuch zum Gebiet der Düngemittelchemie nachlesbar.
Wichtigste Rohstoffe sind Ammoniak (NH_3) und Kalkstein, die über ein spezielles Transportsystem im Werk angeliefert werden. Die Herstellung der Endprodukte Kalkammonsalpeter (KAS) und Ammoniumnitrat (AN) kann man in folgende Teilprozesse zergliedern:

- Salpetersäuresynthese (HNO_3)
- Ammoniumnitratsynthese (KAS-Naß)
- Kalkammonsalpeterherstellung (KAS-Trocken)
- Ammoniumnitratweiterverarbeitung
- Kalkmahlen
- Wasseraufbereitung/Abwasserbehandlung.

Ihre gegenseitige Verflechtung über die Hauptenergie- und Stoffströme geht aus dem technologischen Schema hervor. Charakteristisch für das betrachtete Düngemittelwerk ist die enge Verknüpfung zwischen Produktion einerseits und der Dampfversorgung andererseits. Diese unmittelbare Kopplung gründet sich darauf, daß der gesamte benötigte Dampf (Prozeßdampf, Dampf für Antriebsaggregate und Heizungszwecke in technologischen und sozialen Objekten) durch Nutzung der Reaktionswärmen der einzelnen Syntheseprozesse gewonnen werden muß, da kein Dampfimport in größerem Maße möglich ist. Für die Erzeugung von Hochdruckdampf zum Anfahren der beiden HNO_3-Anlagen existiert ein Anfahrdampferzeuger auf Heizölbasis, der ansonsten nur in Ausnahmesituationen zur Verfügung steht. Es liegt also im Prinzip eine starre Kopplung zwischen der Produktionsleistung des gesamten Werkes und dem Niveau der Dampfversorgung vor.
Die HNO_3-Anlagen sind dabei als Hauptdampferzeuger für das gesamte Werk zu betrachten. Nur hier entsteht im Normalbetrieb Hochdruckdampf für den Eigenbedarf der Syntheseanlagen und den Export. Die bei der Ammoniumnitratsynthese entstehende Reaktionswärme gestattet die Entfernung eines

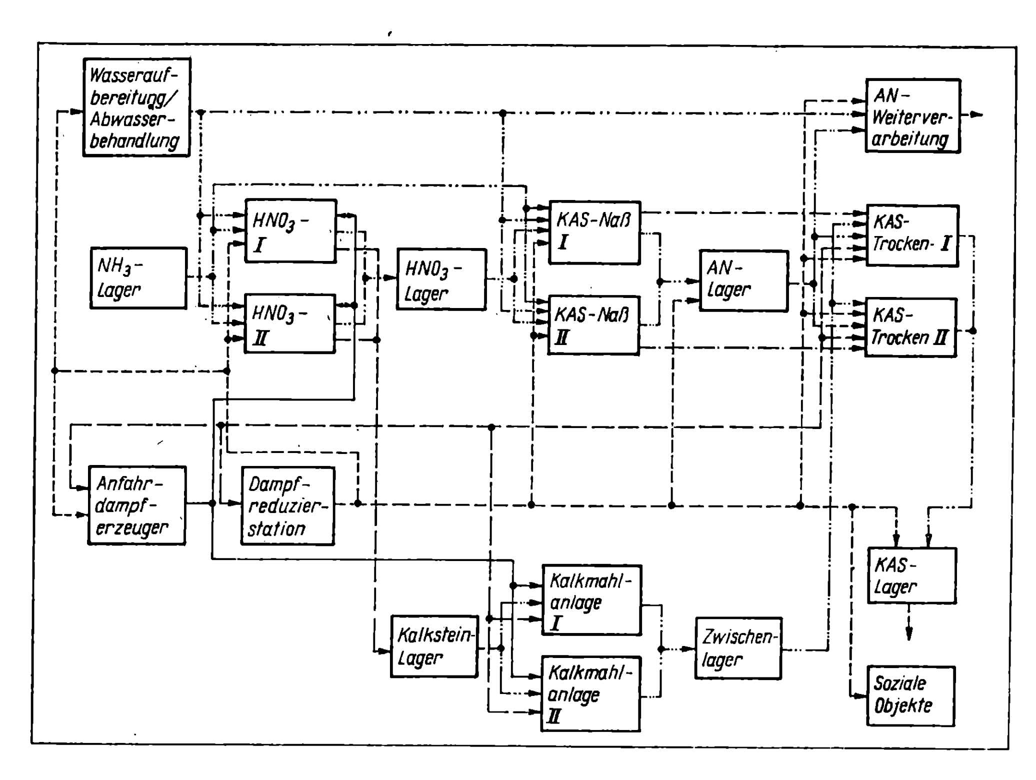


Bild 1. Schema des betrachteten komplexen technologischen Systems
——— Hochdruckdampf;
— — — Mitteldruckdampf;
- - - - - Niederdruckdampf;
—·—·— basischer Prozeßdampf;
—··—··— Produkte/Rohstoffe

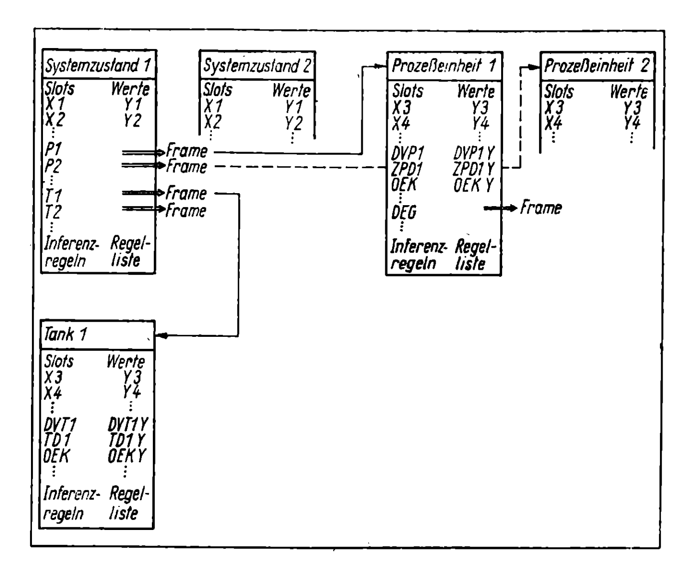


Bild 2. Ausschnitt aus der Wissensbasis des Düngemittelwerkes in Prototyp-Form

$x1$, $x2$ Merkmale des Systemzustandes; $x3$, $x4$, ... Zustands-, Steuervariable; $P1$, $P2$, ... Frames von Prozeßeinheiten; $T1$, $T2$, ... Frames von Tanks/Speichern DEG Frame der innerhalb der in $P1$ befindlichen Dampferzeugergruppe;

DVP Dampfverbrauch
ZPD Zielproduktdurchsatz } Funktionsaufrufe
OEK Ökonomische Bewertung

DVT Dampfverbrauch
TD Tankdynamik } Funktionsaufrufe

Teils des durch die Säure eingebrachten Wassers in Form des sogenannten basischen Dampfes. Dieser steht nach Waschen und Endüberhitzung für die KAS-Trockenanlagen zur Verfügung. Aus diesem Grund sind die Anlagen KAS-Naß und KAS-Trocken im Normalbetrieb bezüglich der Dampfversorgung autark.

In der Kalkmahlanlage werden größere Mengen an Hochdruck- und Mitteldruckdampf benötigt, um den zur Verarbeitung kommenden Kalkstein zu trocknen. Weitere wesentliche Dampfverbraucher sind die einzelnen Lager sowie alle sozialen Objekte.

Niederdruckdampf kann in begrenztem Umfang importiert werden.

2. Formulierung der Aufgabenstellung

Das zu implementierende Expertensystem dient als entscheidungsunterstützendes System für den Hauptdispatcher bei der operativen Prozeßführung des beschriebenen technologischen Systems in eingetretenen bzw. prognostizierten Dampfmangelsituationen. Zu bestimmen ist ein solcher Steuervektor $\boldsymbol{u}$, der die Sicherheit aller Produktionsanlagen und sonstiger Objekte im Fall eines Dampfdefizits gewährleistet sowie daraus resultierende Produktionsverluste unter Berücksichtigung bestehender Restriktionen minimiert. Die damit realisierte Automatisierungsfunktion bezeichnet man auch als Produktionssicherung.

Als mögliche Ursachen für Dampfmangelsituationen kommen in Betracht:

- mechanische Defekte in Prozeßeinheiten, Rohrleitungen, Pumpen, Verdichtern usw.
- Störungen in der Ressourcenversorgung (Ammoniak, Kalkstein, Wasser, Hilfsstoffe)
- Störungen im Betrieb der NH_3-Anlagen
- Umweltbedingungen (z. B. niedrige Temperaturen)
- fehlerhafte Bedienhandlungen durch das Fahrpersonal.

Zulässige Steuerhandlungen des Hauptdispatchers sind:

- Abfahren des gesamten Werkes
- Abfahren einzelner Prozeßeinheiten (unter Berücksichtigung existierender Speicherkapazitäten)
- Durchsatzreduzierung einzelner oder aller Prozeßeinheiten (bis auf 60%)
- Abschaltung oder Reduzierung der Heizung für Tanks, Speicher, Arbeitsräume und andere soziale Objekte sowie der Warmwassererzeugung für eine bestimmte Zeitdauer
- Zuschaltung des Anfahrdampferzeugers
- Import von Niederdruckdampf aus dem Fernwärmenetz.

3. Wissensbasis des Expertensystems

Auf grundlegende Probleme der Wissensrepräsentation in echtzeitfähigen Expertensystemen wurde ausführlich in [4] eingegangen.

Allgemein unterteilt man die Wissensbasis eines Expertensystems in Fakten- und Regelwissen (siehe z. B. auch [1]), wobei das Faktenwissen aktuelle Prozeßinformationen sowie vom Menschen bereitgestellte Informationen mit einschließt. Dieses Wissen ist vor allem in der Prozeßautomatisierung stets strukturiert, wobei diese Struktur häufig noch veränderlich und damit selbst Träger wesentlicher Prozeßinformationen ist. Gelingt es nun, diese Struktur in geeigneter Weise zu erfassen und darzustellen, kann die Effizienz des Inferenzprozesses wirkungsvoll gesteigert werden.

Unter Berücksichtigung der für die Prozeßautomatisierung typischen Charakteristika sind i. allg. Framestrukturen zu favorisieren, in die andere Repräsentationsformen integriert werden. Das führt zu einer speziellen Framehierarchie, mit der typische Situationen, Anlagen, Teilanlagen, Prozeßeinheiten, Einzelaggregate bis hin zu elementaren Baugruppen beschrieben werden. Dabei sind die Slots Träger des Faktenwissens bzw. enthalten Hinweise auf andere (untergeordnete) Frames, während das prozedurale Diagnose- bzw. Steuerungswissen jeweils für den durch den betrachteten Frame repräsentierten Teil der objektiven Realität mit Hilfe von Produktionsregeln, semantischen Netzen oder anderen Formen in den Frame eingetragen wird. In diesem Zusammenhang sei auch auf weiterführende Literaturangaben in [1] sowie auf [5] verwiesen. Im diskutierten Expertensystem „Produktionssicherung" wurde eine der in PROCON I möglichen Repräsentationsvarianten, und zwar eine Kombination von Frames mit Produktionsregeln, umgesetzt. Bild 2 zeigt einen Ausschnitt aus der Wissensbasis in Prototyp-Form.

Insgesamt existieren 16 typische Zustandsklassen (Systemzustand 1, 2, ..., 16) die sich durch die Größe des Dampfmangeldefizites und seiner zu erwartenden Zeitdauer unterscheiden.

Die eingetragenen Produktionsregeln beinhalten praktisch Expertenwissen auf dem jeweiligen Frameniveau. Das abgelegte Wissen wird somit beim Abstieg in der Framehierarchie von Ebene zu Ebene immer spezieller. Über Funktionsaufrufe kann man außerdem auf algorithmische Prozeduren zugreifen, die mathematische Prozeßmodelle auf der Basis konventioneller Beschreibungsformen für Diagnosezwecke oder für Steuerwertberechnungen enthalten. Kleine mathematische Modelle wurden dabei direkt in der Systemsprache (GC LISP) implementiert, während für aufwendigere Modellrechnungen Turbo-PASCAL als Programmiersprache gewählt wurde. Prinzipiell läßt GC LISP Funktionsaufrufe in beliebigen Programmiersprachen zu.

Das Faktenwissen umfaßt alle relevanten Zustands-, Steuer- und Störgrößen, die größtenteils automatisch (zeitzyklisch) vom Expertensystem erfaßt werden. Lediglich äußere Störgrößen werden auf entsprechende Anforderung im Dialog vom Dispatcher eingegeben.

Weiterhin beinhaltet das Faktenwissen

- Lastbereiche der Teilanlagen und Prozeßeinheiten
- nominale Dampfverbräuche bei 100% Last
- statische und dynamische mathematische Modelle für den lastabhängigen Dampfverbrauch unter Berücksichtigung weiterer signifikanter Einflußgrößen (z. B. Außentemperatur, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit usw.)
- Grenzwerte für Zustands- und Steuergrößen
- aus der Situationserkennung resultierende Merkmalwerte (siehe auch Abschn. 4.).

Das Regelwissen differiert in seinem Umfang von Zustandsklasse zu Zustandsklasse. Gegenwärtig umfaßt die Wissensbasis etwa 400 mehr oder weniger umfangreiche Produktionsregeln. Damit ist die Wissensbasis jedoch noch nicht vollständig aufbereitet, so daß der Wissenserwerbsprozeß fortgesetzt wird. Zur Illustration seien nachfolgend einige Produktionsregeln in verbaler Form aufgeführt:

Zustandsklasse 1

IF (DV AN-Lager $<$ DAD)
AND (DV KS-Lager $<$ DAD)
AND (DV AN-Lager + DV KS-Lager $\geqq$ DAD)
THEN (Beheizung AN-Lager für 3 h einstellen)
AND (Beheizung KS-Lager einstellen)
IF (DV AN-Lager $<$ DAD)
AND (Last AN-Anlage $< 0{,}3 + (\text{DAD} - 0{,}5)/5{,}5 -$ DV AN-Anlage)
AND (DV KS-Lager $<$ DAD)
AND (DV AN-Lager + DV KS-Lager $<$ DAD)
AND (DV KAS-Lager $-$ 3 t/h $\times$ Luftfeuchte $\geqq$ DAD)
AND (Luftfeuchte $>$ 10%)
THEN (Beheizung KAS-Lager um DV KAS-Lager $-$ 3 t/h $\times$ $\times$ Luftfeuchte reduzieren).

Hierbei sind DV der Dampfverbrauch in t/h und DAD das Dampfdefizit in t/h.
Alle Regeln werden entsprechend in die gewählte Framestruktur integriert und anschließend in der Kernsprache 1 (KS1) von PROCON I auf dem Rechner implementiert.

4. Realisierung des Prozeßsteuerungssystems

In Übereinstimmung mit der in [1] aufgezeigten Strategie wird der Expertenrechner in das für die Prozeßüberwachung, -stabilisierung und -führung zuständige Automatisierungssystem integriert. Dabei ist eine direkte Kopplung zum Leitrechner der Produktionsleitzentrale, der seinerseits on-line mit den Wartenrechnern des Prozeßautomatisierungssystems verbunden ist, vorgesehen. Auf dem Leitrechner sind auch die Situationserkennungsalgorithmen implementiert, deren Hauptaufgabe in der Erkennung und Interpretation von Zustandsänderungen (Prognose sich abzeichnender Dampfmangelsituationen) liegt. Wird eine solche Situation erkannt und entsprechend in die 16 Zustandsklassen eingeordnet, ergeht ein Warnsignal an den Hauptdispatcher.

Nach Aktivierung des Expertenrechners durch den Hauptdispatcher sorgt die Echtzeithülle von PROCON I für die sofortige automatische Übermittlung aller Prozeß- und Statusinformationen vom Leitrechner zum Expertenrechner und für die Instantisierung der Wissensbasis. Diese Informationen werden nachfolgend periodisch aktualisiert.
Die Generierung einer Steuerung erfolgt im Dialog mit dem Hauptdispatcher, in dessen Rahmen vom Expertensystem auch weitere, nicht automatisch erfaßte Prozeßinformationen abgefordert werden.

Zusammenfassung und Ausblick

Das im Beitrag beschriebene Expertensystem Produktionssicherung dient hauptsächlich Forschungszwecken im Zusammenhang mit der Entwicklung des Shells PROCON I. Der Leitrechner mit Prozeß- und Statusinformationen wird deshalb im Labor simuliert.
Nach Abschluß aller Entwicklungsarbeiten, vor allem nach sorgfältiger Verifizierung der Wissensbasis ist jedoch eine Integration des Expertensystems in das real existierende Prozeßautomatisierungssystem vorgesehen.
Das Expertensystem ist in Golden Common LISP unter MSDOS auf IBM-kompatiblen 16-bit-PC implementiert und benötigt neben einem Hauptspeicher (512 Kbyte) eine Festplatte mit einer Speicherkapazität von mindestens 10 Mbyte.

Literatur

[1] *Böhme, B.; Balzer, D.:* Expertensysteme als integraler Bestandteil mikroprozessorgestützter Prozeßleittechnik. msr, Berlin 30 (1987) 10, S. 443–448.
[2] *Böhme, B.; Balzer, D.; Wieland, R.; May, V.:* PROCON I – Ein Expertensystem-Shell für die Prozeßsteuerung. Info 88, 22. bis 27. Februar 1988 Dresden, Tagungsmaterial, Fachsektion 4.
[3] *Wieland, R.; May, V.; Böhme, B.; Balzer, D.:* Zur Gestaltung des Inferenzprozesses in echtzeitfähigen Expertensystemen bei frame-orientierter Wissenspräsentation. Info-88, 22. bis 27. Februar 1988, Dresden, Tagungsmaterial, Fachsektion 4.
[4] *Böhme, B.:* Zu ausgewählten Problemen der Wissensrepräsentation in echtzeitfähigen Expertensystemen. 4. Tagung Modellierung, Optimierung und Steuerung von Systemen, 15. bis 19. Juni 1987, TH Leipzig.
[5] *Pospelow, D. A.:* Situationssteuerung, Theorie und Praxis (in Russ.). Moskau: Nauka 1986.

msr 8738

Die Redaktion msr wünscht ihren verehrten Lesern und Autoren im In- und Ausland ein frohes und gesundes Weihnachtsfest sowie ein glückliches und erfolgreiches Jahr 1988.

*

Редакция msr поздравляет своихуважаемых читателей и авторов за рубежом и в стране с наступающим Новым 1988 годом и желает больших успехов, доброго здоровья и личного счастья.

*

The msr editorial staff wishes its honoured foreign and native readers and authors a sound and merry Christmas as well as a happy and successful year 1988.

*

La rédaction de msr souhaite à ses étrangers et indigènes lecteurs ét auteurs honorés une saine et joyeuse fête du Noël ainsi qu'une bonne année 1988 couronnée de succés.

IFAC '87



10th
World Congress
Munich
July 27-31

10. IFAC-Weltkongreß

Der 10. Weltkongreß der International Federation of Automatic Control (IFAC) wurde vom 27. bis 31. Juli 1987 in München durchgeführt. Mehr als 1450 Teilnehmer aus 45 Ländern informierten sich über die wichtigsten Gebiete der Automatisierungstechnik. Veranstalter war die VDI/VDE-Gesellschaft Meß- und Automatisierungstechnik (GMA) als nationale Mitgliedsorganisation der IFAC in der Bundesrepublik Deutschland. Schirmherr der vom bayerischen Wirtschaftsminister *Anton Jaumann* eröffneten Veranstaltung war der Bundespräsident der BRD, *Richard von Weizsäcker*.

Der IFAC-Weltkongreß, der einem 3jährigen Turnus unterliegt, fand erstmals in der BRD statt. Er war in 120 Sektionen gegliedert, es wurden bis zu 12 Parallelsitzungen abgehalten. Von den 515 Vorträgen, die aus 1150 eingereichten Beiträgen ausgewählt wurden, behandeln 59% Anwendungen in technischen Systemen, 9% Anwendungen in nichttechnischen Systemen und 32% theoretische Grundlagen der Automatisierungstechnik. Dazu kamen 5 Plenarvorträge, 33 Übersichtsvorträge, 7 Fallstudien, 16 Diskussionsrunden und 5 Sitzungen über spezielle Probleme aus der Industrie. Die DDR war mit 9 Beiträgen beteiligt. Viele IFAC-Arbeitsgruppen, Technische Komitees (TC's) und Internationale Programmkomitees tagten während des Kongresses, so auch der Generalrat der IFAC, an dem als DDR-Vertreter Prof. *W. Richter* (TH Leipzig) und Prof. *H. Fuchs* (AdW/ZKI) teilnahmen. Letzterer wurde im TC „Components and Instrumentations" zum Vice Chairman gewählt.

Die Regelungs- und Automatisierungstechnik ist heute eine Schlüsseltechnologie, die alle technischen Bereiche durchdringt und für viele Branchen der Weg zu mehr Innovation ist. Qualität, Funktionsfähigkeit, Zuverlässigkeit und Sicherheit technischer Produkte werden weitgehend durch Art, Vielfältigkeit, Grad und Güte ihrer Regelungs- und Automatisierungsfunktionen bestimmt. Das illustriert die Bedeutung des IFAC-Weltkongresses, der vom Veranstalter ausgezeichnet organisiert wurde.

Folgende Themenschwerpunkte wurden in Vorträgen und Diskussionen behandelt:

- *Anwendungen der Prozeßautomatisierung*
  Energie- und Verfahrenstechnik, Eisen-/Hüttenwesen, Automobile, Fahrzeuge und Motoren
- *Fertigungsleitsysteme*
  Flexible Automatisierung, CAD, CAM, CIM
- *Robotersteuerung und -regelung*
  Sensoren, Bahnregelung, Montage, mobile Roboter
- *Transportsysteme*
  Verkehrsregelung, integrierte Transportsysteme, Schiff — Bahn — Luft
- *Elektrische Antriebe und Leistungselektronik*
  Gleich-/Wechselstromantriebe, Mikro- und Leistungselektronik
- *Luft- und Raumfahrtregelungen*
  Bahnregelung, flexible Raumfahrzeuge, Roboter, digitale Regelung, Systemsicherheit, Optronik
- *Intelligente Komponenten und Geräte*
  Sensoren und Aktoren auf Mikrorechnerbasis
- *Digitale Regelsysteme*
  Kommunikations- und Informationssysteme, fehlertolerante Systeme, Mikrorechner, Projekt-Management
- *CAD/CAE von Automatisierungssystemen*
  Modellbildung, Simulation, Analyse, Entwurf, Programmpakete
- *Moderne Regelungsmethoden*
  Adaptive und robuste Regelung, Identifikation, Fehlererkennung und -diagnose
- *Mensch-Maschine-Systeme*
  Regelung durch den Menschen, Überwachung, Management von Alarmsituationen, mentale Modelle, Operatortraining, Entscheidungsfindung
- *Regelung großer Systeme*
  Kommunikationsnetzwerke, wissensbasierte Systeme, hierarchische und Mehrebenenregelung, Wassergewinnungssysteme
- *Sozioökonomische Systeme*
  Management-, Transport-, Umweltsysteme
- *Biomedizinische Technik*
  Physiologische Regelung, Medikamentensteuerung/-regelung, künstliche Organe
- *Regelungstheorie*
  Lineare Systeme, Zustandsschätzung, Beobachter, Identifikation, adaptive Regelung, Systeme mit verteilten Parametern
- *Künstliche Intelligenz und Expertensysteme*
  Wissensbasierte Regelung, Expertenregelung, KI-Methoden und Anwendungen.

Die Bedeutung des Weltkongresses der Automatisierungstechnik wird auch durch die ökonomische Wirkung der Automatisierung bestätigt. Der Wertanteil der Automatisierungstechnik beträgt je nach Anwendungsgebiet zwischen 2% und 30% der Anlageninvestitionen mit Spitzenwerten in der Chemie und der Energieerzeugung. Der Durchschnitt liegt derzeit bei etwa 10% mit stark steigender Tendenz.

Das Produktionsvolumen der MSR-Branche (Messen, Steuern, Regeln) der BRD ist von etwa 7 Mrd. DM im Jahr 1980 auf 13 Mrd. DM im Jahr 1986 gestiegen, und zwar gleichmäßig auf Inlandsverbrauch, Export und Import verteilt.

Gegenwärtiger Trend ist eine „intelligente" Verschmelzung der Meß- und Automatisierungstechnik mit der Informations- und Kommunikationstechnik sowie die Einführung von modernen Regelungsstrategien nicht nur in technischen, sondern auch in biologischen, ökonomischen, sozialen und anderen Bereichen.

Neben solchen effektiven Regelungs- und Steuerungsalgorithmen standen moderne Rechnerarchitekturen, Vernetzungen in großen Systemen und Expertensysteme für den Echtzeitbetrieb im Mittelpunkt der Betrachtungen in den Sektionen.

Vielfältige Diskussionen der Fachleute auch am Rande des Kongreßgeschehens waren Garant für einen nützlichen Erfahrungsaustausch.

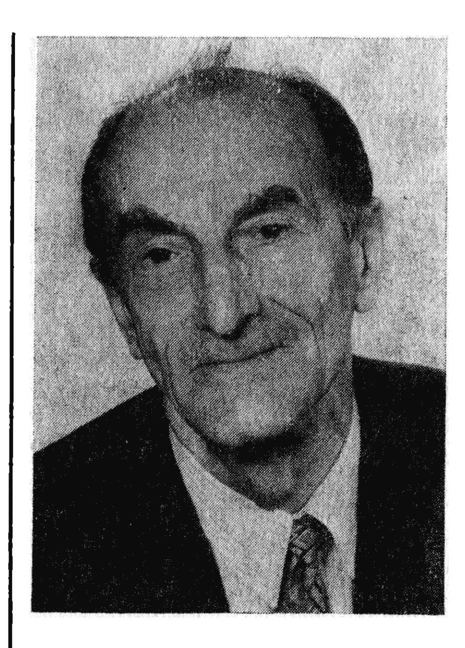
Der neu gewählte IFAC-Präsident, Prof. *Boris Tamm* (UdSSR), hat alle Automatisierungstechniker zum 11. IFAC-Weltkongreß vom 13. bis 17. August 1990 nach Tallinn (UdSSR) eingeladen.

Die Tagungsunterlagen befinden sich bei den Kongreßteilnehmern, z. B. an der TU Magdeburg, dem ZKI der AdW in Berlin und Dresden, der TU Karl-Marx-Stadt und dem FZW Karl-Marx-Stadt, dem Kombinat Robotron u. a.

Dieser erste Bericht vom 10. IFAC Weltkongreß wird in den Heften 2 und 3/88 unserer Zeitschrift durch eine detaillierte Auswertung der einzelnen Sektionen ergänzt.

msr 8769 *H. Fuchs*

Dr.-Ing. Gerhard Meister zum 70. Geburtstag



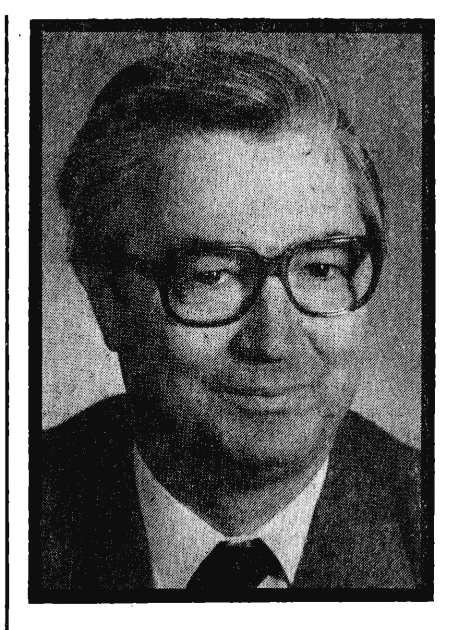
Unser verehrter Fachkollege, das Mitglied des Redaktionsbeirates der Zeitschrift messen · steuern · regeln, Dr.-Ing. *Gerhard Meister*, feierte am 26. November 1987 seinen 70. Geburtstag. Wir wünschen ihm aus diesem Anlaß weiterhin beste Gesundheit und erfolgreiches Wirken am Schreibtisch, in Beratungsgremien und im Familienkreis.
Dr.-Ing. *Gerhard Meister* ging Anfang 1984 nach einem außerordentlich erfolgreichen 50jährigen Berufsleben in den verdienten Ruhestand.
1932 begann er bei der Firma Carl Zeiss Jena als Feinmechanikerlehrling. Von 1937 bis 1939 qualifizierte er sich zum Elektroingenieur und war danach mehrjährig als Laborleiter und Konstrukteur tätig. In dieser Zeit wurde ihm aus der praktischen Erfahrung heraus immer stärker bewußt, daß der feinmechanisch-optisch-elektronische Gerätebau wissenschaftlich untermauert werden muß. Folglich ging er an die eben neu eröffnete Friedrich-Schiller-Universität Jena und schloß sein Studium 1951 als Dipl.-Physiker ab.
Damit waren die drei entscheidenden Säulen: Physik — Feinmechanik — Elektrotechnik gesetzt, auf denen er seine schöpferischen Leistungen für den wissenschaftlichen Gerätebau gründete.
In Übereinstimmung mit dem wissenschaftlich-technischen Fortschritt und den Bedürfnissen der Gesellschaft lagen ihm stets zwei Probleme am Herzen: Präzisionssteigerung und Automatisierung im wissenschaftlichen Gerätebau. Als Entwicklungsleiter und späterer Technischer Berater in der technologischen Entwicklung des VEB Carl Zeiss JENA lieferte er entscheidende Beiträge zur industriellen Beherrschung der feinmechanisch-optischen Präzisionsfertigung und -messung.
Das Geheimnis seiner Erfolge liegt darin begründet, daß er auf Vorhandenem aufbaut, dessen Wesen ergründet, Schwachstellen erkennt, sich die notwendigen Verbesserungen einfallen läßt und dabei gleichgewichtig und im steten Wechselverhältnis Präzisionsmessung und -fertigung vorangetrieben hat.

Groß ist sein persönlicher Anteil an der erfolgreichen Automatisierung im wissenschaftlichen Gerätebau. Bereits in den 50er Jahren widmete er sich den — wie wir heute sagen würden — Präzisionssensoren und -aktoren. Seine Präzisionsmeßpotentiometer, Präzisionsmagnetkupplungen und Relaislaufgetriebe sind bis heute erfolgreich im Feingerätebau im Einsatz.
Darüber hinaus wurden ihm grundlegende Erfindungen auf dem Gebiet der Optoelektronik zur Objektivierung der Messungen und zur Automatisierung technologischer Spezialausrüstungen patentiert. Zu nennen sind optoelektronische Mikroskope für statische und dynamische Messungen, Teilmaschinen mit automatischer Kippfehlerkorrektur, biege- und verspannungsunempfindliche Gestaltung von Glasmaßstäben und Teilkreisen sowie neuartige Fassungstechnologien für Hochleistungsobjekte.
Um einerseits die Präzision der Meßgeräte und Erzeugnisse beständig zu erhöhen, andererseits aber die industrielle Fertigung und die Herstellungskosten nicht zu überfordern, setzte er sich immer wieder aktiv mit den physikalischen Grenzen technischer Wirkprinzipe und Gebilde auseinander. Einen Einblick vermitteln seine Veröffentlichungen zu Stand und Tendenz der Präzisionsmeßtechnik im Vorfeld physikalischer Grenzen der Meßbarkeit.
G. Meister selbst hält seine jüngste Entwicklung, das Spanndrahtlineal für höchste Geradheitsansprüche, als seinen wichtigsten Beitrag für die Präzisionssteigerung im Maschinen- und Gerätebau.
Selbst ständig Lernender, hat sich Dr. *Meister* große Verdienste um die Aus- und Weiterbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses erworben. Er betreute mehr als 150 Praktikanten und Diplomanden der TU Dresden, TH Ilmenau und FSU Jena, war lange Jahre aktives Mitglied der wissenschaftlichen Räte mehrerer Sektionen, verfaßte über 200 Fachartikel und Vorträge und organisierte betriebsinterne KDT-Kolloquien mit hohem wissenschaftlichem Niveau. Auch heute noch ist er aktiver Mitgestalter und gern gesehener Gast der fertigungsmeßtechnischen Kolloquien.
Im Redaktionsbeirat unserer Fachzeitschrift sowie in mehreren Arbeitskreisen und Fachgremien ist er ein anerkannter und gefragter Ratgeber.
Seine hervorragenden fachlichen und gesellschaftlichen Leistungen fanden hohe Anerkennung. Er ist „Verdienter Techniker des Volkes", Träger des Ordens „Banner der Arbeit" sowie Träger des Ernst-Abbe-Preises und der Goldenen Ehrennadel der KDT.
Dr.-Ing. *Gerhard Meister* hat sich allen seinen ehemaligen Arbeitskollegen, seinen Fachkollegen und Freunden als unermüdlicher Forscher und liebenswerter Mensch eingeprägt. Sein Lebensstil ist fast unverändert, auch wenn sich der Arbeitsinhalt verändert hat.
Als Hobbysportler hält er sich fit, um seinen umfangreichen beruflichen Erfahrungsschatz für die jüngere Generation aufzubereiten und in sogenannten Konstrukteurinformationen zu verdichten.
Die großväterliche Betreuung seiner vier Enkel ist nach dem anstrengenden, häufig kompromißlosen Berufsleben, wie er sagte „sehr angenehm und nützlich" und im übrigen erledigt er gewissenhaft gute Teile der Gartenarbeit in den Gärten seiner Kinder, die sich während dieser Zeit beruflichen Problemen intensiver widmen können.
Wir, seine Fachkollegen und Freunde, wünschen Dr.-Ing. *Gerhard Meister* alles Gute. Für sein bisheriges Wirken sagen wir ihm herzlichen Dank.

Dietrich Hofmann

Auch wir, die Mitarbeiter der Redaktion msr, gratulieren unserem verehrten Redaktionsbeiratsmitglied Dr.-Ing. *Gerhard Meister* herzlich und wünschen ihm für die kommenden Jahre viel Gesundheit, Schaffenskraft und Freude an den schönen Dingen des Lebens. Mit dem Dank für all das bisher im Redaktionsbeirat Geleistete, für die aktive und kreative Einflußnahme auf die Belange der Zeitschrift, verbinden wir die Hoffnung auf weitere gute Zusammenarbeit.

Prof. Dr.-Ing. habil. Manfred Schubert verstorben



Am 7. August 1987 hat sich das Leben des Präsidenten der Kammer der Technik, *Manfred Schubert*, Abgeordneter der Volkskammer der DDR, Ordentlicher Professor an der Technischen Universität Dresden, Korrespondierendes Mitglied der Akademie der Wissenschaften der DDR, Ordentliches Mitglied der Sächsischen Akademie der Wissenschaften, nach schwerer Krankheit im Alter von 57 Jahren vollendet.
Wir verneigen uns in tiefer Dankbarkeit vor seiner Persönlichkeit. Mit *Manfred Schubert* verlieren wir einen national und international geschätzten Wissenschaftler unseres Landes, der seine ganze Persönlichkeit für unser sozialistisches Vaterland, für den Sozialismus und den Frieden einsetzte.
Manfred Schubert hat als Präsident der Kammer der Technik in den vergangenen 13 Jahren einen hohen persönlichen Beitrag zur Entwicklung unserer sozialistischen Ingenieurorganisation geleistet. Vor Ort in den Kollektiven, bei den Menschen am Arbeitsplatz war sein Wirkungsfeld. Ob untertage im Kaliwerk Zielitz, im Kombinat Elektro-Apparate-Werke „Friedrich Ebert" Berlin, im Geräte- und Reglerwerke Teltow oder in der Betriebssektion der KDT im Chemiefaserkombinat „Wilhelm Pieck" Schwarza, überall und immer war sein Rat gefragt.
Der sparsame und behutsame Umgang mit den begrenzten Reichtümern der Natur und die damit verbundene Verantwortung für die Generationen nach uns waren ihm ein hohes persönliches Anliegen. Darin sah er eine große gesellschaftliche Verantwortung des Ingenieurs. Seine wissenschaftlichen Beiträge zu abproduktfreien Technologien und zur Umweltschutztechnik fanden weithin große Beachtung und enthalten viele Anregungen zur weiteren Arbeit auf diesen so bedeutsamen Gebieten.
Mit seinem überzeugenden politischen Engagement, seinem unermüdlichen Fleiß und seinem hohen Verantwortungsbewußtsein für die Entwicklung von Wissenschaft und Technik, mit seiner menschlich so aufgeschlossenen Art, seinen anregenden, auf die Lösung der Probleme gerichteten Hinweisen, zog *Manfred Schubert* jeden in seinen Bann und motivierte ihn zu neuen Leistungen. Jede Aufgabe betrachtete er als seinen persönlichen Auftrag und setzte sich leidenschaftlich für die Erfüllung ein.
Mit uns trauern Genossen und Freunde, Mitglieder der Kammer der Technik, Wissenschaftler, Ingenieure und Studenten an den Forschungs- und Bildungseinrichtungen sowie in den Kombinaten und Betrieben unseres Landes.
Wir erfüllen sein Vermächtnis, wenn wir in seinem Sinne die vor uns stehenden Aufgaben lösen, und wir gedenken seiner in Dankbarkeit und Ehrerbietung.

Präsidium der Kammer der Technik

msr BUCHBESPRECHUNGEN

Praxis der Softwareentwicklung. Von *G. Rothhardt.* Berlin: VEB Verlag Technik 1987. 296 Seiten, 68 Bilder, 23 Tafeln, 30,— M.
Bestell-Nr. 553 751 4

An das Studium eines technologischen Fachbuchs geht man sicher oft mit etwas Zurückhaltung heran. Bei diesem Titel aber macht das Lesen schon auf den ersten Seiten Spaß. Der Leser wird direkt angesprochen und fühlt sich nach wenigen Sätzen gepackt. Hier liegt ein Buch vor, für das der Slogan „aus der Praxis — für die Praxis" wirklich zutrifft. Hier spürt der Praktiker das Verständnis des Autors für seine Probleme, und hier erhält er auch konkrete Hilfe. Dabei wird eine geschickte Mischung von wissenschaftlicher Exaktheit und breitenwirksamer Darstellung gewählt. Es bereitet großes Vergnügen, zu erleben, wie der Leser psychologisch einfühlsam bei Tagesfragen gepackt wird, wie sich die Situation entwickelt und wie letztendlich eine wissenschaftlich fundierte Lösung aufgebaut wird. Hervorzuheben, sind dabei auch der geradezu spannende Stil des Autors sowie die gut durchdachten und sauber ausgeführten Strichzeichnungen. Und am Ende jedes Abschnittes ist zusammengestellt, welche der rund 400 (!) im Literaturverzeichnis angegebenen Stellen zum weiterführenden Studium empfohlen werden.

Das Buch ist im wesentlichen in zwei große Teile gegliedert, in denen die Softwareentwicklung zum einen aus der Sicht des Programmierers, zum anderen unter dem Blickwinkel des Projektleiters behandelt wird. Im ersten Teil stehen die einzelnen Entwicklungsphasen und die dabei eingesetzten Methoden und Werkzeuge im Mittelpunkt. Im zweiten werden Probleme der Arbeitsorganisation behandelt, die in nicht geringem Maße über den Erfolg einer Softwareentwicklung mitentscheiden. In einem abschließenden, dritten Teil trägt der Autor ein dringendes Anliegen vor: Wie sind alle Entwicklungskollektive zu einer methodischen Arbeit zu bringen? Es wäre wünschenswert, wenn die Einrichtungen und Personen, an die diese Zeilen gerichtet sind, sie auch mit der erforderlichen Konsequenz beachteten.

Zusammenfassend kann man dem Leser nur dasselbe Vergnügen wünschen, das der Rezensent bei der Lektüre dieses Buches hatte, zu dem man Autor, Lektor und Verlag nur beglückwünschen kann.

B 2282 *D. Werner*

Sensoren — Fühler der Meßtechnik. Ein Handbuch der Meßwertaufnahme für den Praktiker. Von *G. W. Schanz.* Heidelberg: Dr. Alfred Hüthig Verlag GmbH 1986. 416 Seiten, 230 Bilder, 10 Tafeln.

Es ist wenige Jahre her, daß der Sensorbegriff unter Meßtechnikern gewissermaßen „hoffähig" geworden ist — war es doch erst mühsam gelungen, den Meßfühler als erstes Bauglied einer Meßkette allgemein einzuführen. Interessanterweise war mit dem Meinungsstreit über den Begriffsinhalt auch eine Verständigung darüber verbunden, daß der Sensor (oder exakter: das Sensorelement) allein noch keine neue meßtechnische Qualität darstellt, sondern erst in funktioneller oder körperlicher Integration mit nachverarbeitenden Einheiten potentiell neue Einsatzfelder erschließt. Das bedeutet natürlich kei-

neswegs, daß schon hinreichend bekannte Prinzipe und gerätetechnische Lösungen bedeutungslos würden — wohl aber dürfte mit dem Sensorbegriff immer auch eine Erwartungshaltung im eben genannten Sinn verbunden sein. Bisher erschienene Bücher über Sensoren tendieren tatsächlich mehr oder weniger ausgeprägt in die eine oder andere Richtung.
Dieses Buch beschränkt sich ausschließlich auf den Meßfühler ohne Nachverarbeitung und stellt mit ähnlicher Konsequenz fertige Industrieprodukte vor. Dabei dominieren optische Präsentation (Industriefotos) und verbale Beschreibung, während Wirkprinzipe eher erläuterndes Beiwerk bleiben. Dafür liest sich das Buch recht kurzweilig, ein verschiedentlich lockerer Plauderton ist für einen Leserkreis von Praktikern in Meßtechnik und Elektronik sowie in Randgebieten wohl angemessen. Wer allerdings eine ingenieurtechnische Aufarbeitung von Prinzipen und Verfahren erwartet, wird das Buch weniger befriedigt aus der Hand legen müssen.
Nach einer erstaunlich umfangreichen Beschreibung von SI-Einheiten (etwa 35 Seiten) werden unter der Überschrift „Sensoren für die tägliche Praxis" Sensoren für Temperatur, für stoff- und konzentrationsbezogene Größen, für alle mechanischen und für magnetische Größen, weiter optoelektronische Sensoren sowie Näherungsschalter beschrieben. Da die zugehörigen Firmenschriften weitestgehend zitiert sind, ist dem ernsthaften Interessenten eine für den scharfen Einsatz wohl immer erforderliche nachträgliche Beschaffung von Detailinformationen über Daten, Einsatz- und Anschlußbedingungen möglich. In ansehnlichem Umfang eingefügte ganzseitige Anzeigen unterstützen diese Orientierung des Lesers. Wenn das für Fachbücher auch keine erstrebenswerte Tendenz sein sollte, so nützt es offensichtlich aber der Preisgestaltung.
Insgesamt liegt mit dem Buch eine ansprechende Übersicht über Sensoren für den Einsatz in vielen Bereichen der produzierenden Industrie vor: eine freundliche Information ohne Ansprüche an Vorkenntnisse.

B 2241 *W. Richter*

Rechnergestützte Analyse von Störungen. Von *F. Baldeweg* und *A. Lindner*. Berlin: Akademie-Verlag 1986. 152 Seiten, 59 Bilder, 18 Tafeln, 22,— M.

Die Monographie leistet einen Beitrag dazu, das Gebiet der Prozeßsicherung weiter wissenschaftlich zu erschließen und moderne gerätetechnische Möglichkeiten zu Sicherungszwecken voll auszuschöpfen. Über die Bedeutung des behandelten Gebiets bedarf es nach den letzten dramatischen Havarien keiner weiteren Worte. Anknüpfungspunkt ist das Störereignis; praktisches Anliegen sind Methoden, die zur Lokalisierung und Analyse der Störungen, Ergründen ihrer Ursachen und möglicher Folgen sowie dem Auslösen zweckentsprechender Gegenmaßnahmen angewendet werden können. Wissenschaftliches Anliegen des Buchs ist darüber hinaus, die dazu gegenwärtig oder zukünftig verwendeten Verfahren und Methoden auch auf eine wissenschaftliche Basis zu stellen und auf die durch die Rechentechnik gegebenen Möglichkeiten hinzuweisen. Dazu gehört auch eine kompakte Darlegung automaten- und graphentheoretischer Grundlagen. Sehr zu begrüßen ist ein größerer Abschnitt zur Störungsanalyse mit Expertensystemen, der eine gute Einschätzung eines heute viel beredeten, aber noch durch relativ wenig Beispiele belegten Gebiets ermöglicht und seine Relevanz gerade für Prozeßsicherungsaufgaben deutlich macht. Deutlich wird auch, daß nicht allein technische Probleme zu lösen sind, sondern daß die zweckentsprechende Einbeziehung des Menschen in die Sicherungsstrategie auf einer wissenschaftlichen Basis dazugehört. Die Beschreibung einiger spezieller Störungsanalysesysteme in Kernkraftwerken rundet dieses sehr nützliche Buch ab, das nicht allein für den Bereich der Kerntechnik, sondern ebenso für andere Hochrisikosysteme, wie Chemieanlagen, Kraftwerke und Verkehrssysteme, von hoher Bedeutung ist.

B 2243 *G. Brack*

Signal Processing for Control. Herausgeber: *K. Godfrey* und *P. Jones*. Berlin/Heidelberg/New York/Tokyo: Springer-Verlag 1986. 420 Seiten, zahlr. Bilder.

Der Band 79 der von *M. Thoma* und *A. Wyner* herausgegebenen „Lecture Notes in Control an Information Sciences" umfaßt Beiträge einer vom 15. bis 20. September 1985 an der Universität Warwick in Coventry/GB durchgeführten „Ferienschule". Im Mittelpunkt standen analytische und rechentechnische Methoden zur Beschreibung von Zufallszahlen nebst ihrer Wirkung auf dynamische Systeme, die Systemidentifikation und Parameterschätzung, die digitale Filterung und Zustandsschätzung sowie die Zustands- bzw. Parameterschätzung als Bestandteil von Regelungssystemen. Dabei wird der Bogen von Signalbeschreibungsmethoden (Fourier-Reihen und Fourier-Transformation, Laplace-Transformation, z-Transformation usw.) und den grundlegenden Methoden zur Systembeschreibung (Differentialgleichung, Impulsantwort, Frequenzgang, Übertragungsfunktion, Differenzengleichung und z-Übertragungsfunktion) sowie den Zusammenhängen in und zwischen Matrizen einschließlich der Ermittlung von Eigenvektoren und Eigenwerten über die Wahrscheinlichkeitstheorie und Statistik sowie Korrelationsfunktionen und Wahrscheinlichkeitsdichten bis hin zu grundlegenden Schätzproblemen, dem Entwurf und der Implementierung digitaler Filter, den Parameterschätzverfahren (direkt und rekursiv), den Anwendungen der Spektralanalyse (einschließlich Cepstrumanalyse), der Zustandsschätzung und Vorhersage, der Identifikation nichtlinearer Systeme und schließlich der diskreten Self-tuning-Regelung gespannt. Dem wird eine Reihe von Fallstudien angefügt.
Trotz der anfänglichen Zusammenstellung wesentlicher Grundlagen ist das Buch eher für Spezialisten gedacht, die sich in die unterschiedlichen gedanklichen Ansätze der insgesamt 13 Autoren hineindenken können. Für sie wird das Buch wegen seines breiten Informationsgehalts von Wert sein.

B 2271 *D. Werner*

Systems: Decomposition, Optimization and Control. Von *M. G. Singh* und *A. Titli.* Moskau: Mašinostroenie 1986. 496 Seiten, 194 Bilder, 14 Tafeln.

Das Buch behandelt in der Praxis erprobte moderne Optimierungsverfahren. Entsprechend der Vielfalt existierender Optimierungsaufgaben ist dabei eine Auswahl notwendig. Sie erfolgt hier aus der Sicht der Optimierung großer Systeme. Dementsprechend konzentrieren sich die Autoren auf die hierarchische Optimierung von Modellen sehr großer Dimension. Angeführte Beispiele belegen die Effektivität der Algorithmen.
Ausgehend von der Aufgabe der nichtlinearen Optimierung mit und ohne Beschränkung behandeln die Autoren die grundlegende Technik zur Lösung nichtlinearer Optimierungsaufgaben und ihre Anwendung zur optimalen Steuerung am Beispiel der Gradientenverfahren und der Newtonschen Methode. Daran anschließend werden Dekompositionsmethoden zur Lösung nichtlinearer Optimierungsaufgaben großer Dimension untersucht, wobei unterschiedliche Koordinierungsstrategien und deren Konvergenz dargelegt werden.
Ein weiterer Schwerpunkt ist die dynamische Optimierung sowie die Entwicklung hierarchischer Methoden zur Lösung entsprechender Aufgaben großer Dimension. Enthalten sind sowohl Methoden zur Optimierung und Steuerung großer linearer Systeme mit quadratischer Gütefunktion als auch entsprechende Verfahren für nichtlineare Systeme.
Nach einer Einführung in die Wahrscheinlichkeitstheorie werden Methoden zur Zustands- und Parameterschätzung einschließlich der Steuerung stochastischer Systeme dargestellt. Abschließend werden erste Vorstellungen zur robusten dezentralen Steuerung großer linearer Systeme entwickelt.

B 2265 *J.-A. Müller*

Internationaler Veranstaltungskalender 1988 bis 1990 (Auswahl)

1988

- 21. bis 22. Januar Halle — 11. Fachtagung — Licht und Gestaltung
- 25. bis 27. Januar New Orleans/USA — OFC '88 — Conference on Optical Fiber Communication
- 26. bis 28. Januar Los Angeles/USA — Annual Reliability and Maintainability Symposium
- 1. bis 6. Februar Zürich/Schweiz — INDUSTRIAL HANDLING — Internationale Fachmesse für moderne industrielle Produktionstechnik
- 3. bis 5. Februar Dresden — 21. Fachkolloquium Informationstechnik der TU Dresden zu Problemen der Automatisierung
- 4. bis 20. Februar Bombay/Indien — WISITEX '88 — 5. Internationale Messe für Steuer- und Regeltechnik sowie industrielle Elektronik mit Symposium
- 8. bis 10. Februar Karl-Marx-Stadt — VII. Oberflächenkolloquium
- 22. bis 27. Februar Dresden — INFO '88
- 24. Februar bis 1. März Brno/ČSSR — ROBOT — Internationale Ausstellung von Industrierobotern mit wissenschaftlich-technischen Beiprogrammen
- Februar Zürich/Schweiz — INTOOLEX — Internationale Fachmesse für Werkzeuge in der industriellen Fertigungstechnik
- 2. bis 4. März Stuttgart BRD — Fachtagung „Prozeßrechnersysteme '88"
- 13. bis 19. März Leipzig — Leipziger Frühjahrsmesse
- 14. bis 16. März Bad Nauheim/BRD — Fachtagung „Sensoren, Technologie und Anwendungen"
- 15. bis 17. März Aachen/BRD — 8. Aachener Fluidtechnisches Kolloquium
- 15. bis 17. März London — 9th International Conference on Assembly Automation
- 16. bis 23. März Hannover BRD — Hannover-Messe CeBIT
- 17. bis 19. März Leipzig — Internationales Messesymposium „Rechnergestützte Qualitätssicherung"
- 18. bis 26. März Moskau — Internationale Ausstellung für moderne Technologien in Industrie und Wirtschaft
- 6. bis 8. April Venedig/Italien — IFAC/IMEKO/IMACS-Symposium on Modelling and Control in Biomedical Systems
- 11. bis 12. April Oxford/GB — International Workshop on ROBOT CONTROL
- 11. bis 14. April New York/USA — ICASSP '88 — IEEE International Conference on Accoustics, Speech and Signal Processing
- 13. bis 15. April Oxford/GB — International Conference „CONTROL 88"
- 19. bis 21. April Linz/Österreich — Internationale Fachausstellung und Anwenderkongreß „CAD/CAM — Computerunterstützte Technologien in der Fertigungsindustrie"
- 20. bis 26. April Brno/ČSSR — Internationale Konsumgütermesse
- 20. bis 27. April Hannover/BRD — Hannover-Messe INDUSTRIE
- 26. bis 28. April Johannesburg/Südafrika — IFAC/IFIP-Symposium on Software for Computer Control — SOCOCO '88
- 26. bis 28. April Lausanne/Schweiz — 18th International Symposium on Industrial Robots
- 3. bis 5. Mai Görlitz — XII. Fachtagung „Mikroelektronik — Dezentrale Informationsverarbeitung bei der Automatisierung technischer Prozesse, Meßtechnik und Bürodatenverarbeitung"
- 3. bis 5. Mai Nürnberg/BRD — SENSOR '88 — Internationale Ausstellung und Kongreß für Forschung, Entwicklung und Anwendung
- 3. bis 6. Mai Stuttgart/BRD — CAT — Computerunterstützte Technologien in der Fertigungsindustrie
- 3. bis 7. Mai Brüssel — ROBOTEX — Technische Ausstellung zum Internationalen Symposium für Industrie-Roboter
- 9. bis 13. Mai Sofia — International Symposium on Network Information Processing "SYSTEMS '88"
- 18. bis 26. Mai Budapest — Budapester Internationale Frühjahrsmesse
- 25. bis 27. Mai Valencia/Spanien — IFAC/IFIP-Workshop on Real Time Programming
- 25. bis 27. Mai Sindelfingen/BRD — IDENT — High-Tech-Messe für Spezialisten, internationale Fachausstellung und Kongreß für Identifikationstechnologie
- 30. Mai bis 3. Juni Berlin (West) — COMPAS — Software als Produkt (Erfahrungsberichte, Lösungen, praxisorientierte Know-how-Vermittlung)
- 30. Mai bis 3. Juni Zürich/Schweiz — IUTAM/IFAC — Symposium on Dynamics of Controlled Mechanical Systems
- 31. Mai bis 3. Juni Berlin (West) — KOMMTECH — Internationale Fachmesse für Kommunikation und technische Automation
- 6. bis 10. Juni Portland/USA — 64th Semi-Annual Meeting of the Western Regional Strain Gage Committee's together with 6th International Congress of the Society for Experimental Mechanics'
- 7. bis 9. Juni Espoo/Finnland — IEEE International Symposium on Circuits and Systems
- 7. bis 11. Juni Düsseldorf/BRD — METAV — Ausstellung für Fertigungstechnik, Automatisierung und neue Werkstoffe
- 8. bis 10. Juni — INRIA/IFAC — Conference of Ana-

Antibes/Frankreich — lysis and Optimization of Systems

● 13. bis 14. Juni Atlanta/USA — IFAC-Workshop on Model Based Process Control

● 13. bis 17. Juni Moskau — QUALITY – PROGRESS – ECONOMY – 32. alljährliche Konferenz der EOQC (Europäische Organisation für Qualitätssicherung)

● 14. bis 16. Juni Oulu/Finnland — IFAC/IFIP/IEA/IFORS – Conference on Analysis, Design and Evaluation of Man-Machine-Systems (MMS '88)

● 14. bis 17. Juni Dresden — 7. Internationale Konferenz PROLAMAT '88 zur Software in der Fertigungstechnik

● 20. bis 26. Juni Tbilissi/UdSSR — IFAC – Workshop on Control Application of Nonlinear Programming

● 27. Juni bis 1. Juli Varna/VR Bulgarien — IFAC/IMAC-Symposium on Systems with Distributed Intelligence

● 1. bis 10. Juli Kyoto/Japan — 16th International Congress of Industrial Society for Photogrammetry and Remote Sensing

● 11. bis 13. Juli Clyne Castle, Swansea/GB — TRICMED '88 – International Symposium on Trends in Control and Measurement Education

● 18. bis 22. Juli Paris — 12th IMACS World Congress on Scientific Computation

● 25. bis 28. Juli Peking/VR China — International Conference on System Science and Engineering (ICSSE '88)

● 8. bis 12. August Peking und Shenjang — IEEE 1988 International Conference on Systems Man & Cybernetics

● 17. bis 19. August Lyngby/Dänemark — ADCHEM '88 – IFAC-Symposium on Adaptive Control of Chemical Processes

● 22. bis 24. August Newcastle/Australien — IFAC-Workshop on Robust Adaptive Control

● 22. bis 24. August Otaniemi, Espoo/Finnland — 2nd Symposium on Metrological Assurance for Environmental Control

● 23. bis 25. August Peking — 4th IFAC-Symposium on Computer Aided Design in Control Systems

● 27. bis 31. August Peking — 8th IFAC-Symposium on Identification and System Parameter Estimation

● 27. bis 31. August Frankfurt/Main — Internationale Frankfurter Messe

● 4. bis 10. September Leipzig — Leipziger Herbstmesse

● 5. bis 8. September Brüssel — IFAC-Symposium on Power Systems: Modelling and Control Applications

● 6. bis 10. September Basel/Schweiz — SAMA – Internationale Fachmesse für Spitzentechnologien SWISSDATA – Fachmesse für Datenverarbeitung in Industrie, Technik und Forschung

● 12. bis 15. September Udine/Italien — 7th Symposium on Theory and Practice of Robots and Manipulators

● 12. bis 16. September Berlin — 3rd International Symposium on Systems Analysis and Simulation

● 13. bis 15. September Pasadena/USA — IFAC-Workshop on Spacecraft Autonomy: Present and Future Capabilities

● 13. bis 15. September Vitznau/Schweiz — DCCS '88 – 8th IFAC-Workshop on Distributed Computer Control Systems

● 13. bis 15. September Stuttgart/BRD — 7th International Conference on Flexible Manufacturing Systems and 5th International Conference on Lasers in Manufacturing

● 13. bis 18. September Herning/Dänemark — HI – Messe für Industrietechnik, Hydraulik, Pneumatik, Prozeßautomatisierung, Robotertechnik, Elektronik, Elektrotechnik, Werkzeugmaschinen

● 14. bis 21. September Brno/ČSSR — Internationale Maschinenbaumesse

● 25. bis 28. September Cambridge/GB — SCI/IFAC – Symposium on Modelling and Control of Biotechnological Processes

● 27. bis 30. September Göteborg/Schweden — KOMPONENT – Fachmesse für Komponenten in der Elektronik-Industrie (Meß- und Regeltechnik, Automation)

● 28. bis 30. September Brügge/Belgien — 2nd IFAC-Workshop on Reliability, Availability and Maintenability of Industrial Process Control Systems

● 29. bis 30. September Dresden — 5. Fachtagung „Installationstechnik" mit RGW-Beteiligung

● 2 Tage September Potsdam — 11. Wissenschaftlich-Technische Konferenz „Automatisierungssysteme" der WGMA

● September Stuttgart/BRD — AMB – Ausstellung für Metallbearbeitung

● September Besancon/Frankreich — MICRONORA – Internationale Biennale der Feinwerktechnik

● September Hannover/BRD — BIOTECHNICA – Internationale Messe und Kongreß für Biotechnologie

● 5. bis 7. Oktober Karlsruhe/BRD — SYROCO '88 – IFAC/IMACS/IFIP-Symposium on Robot Control

● 11. bis 13. Oktober Rabat/Marokko — 4th IFAC-Symposium on Systems Analysis Applied to Management of Water Resources

● 16. bis 21. Oktober Houston/USA — XI. IMEKO-Weltkongreß „Instrumentation for the 21st Century" (einschließlich der 43. Jahreskonferenz und Ausstellung der Instrument Society of America (ISA))

● 17. bis 21. Oktober Berlin — PARCELLA '88

● 18. bis 21. Oktober Kopenhagen — INDUSTRIE ROBOT – Internationale Messe für Industrieroboter und Robotertechnologie mit Konferenz

● 20. bis 21. Oktober Berlin — Fachtagung „Aufsetzmontage in der Leiterplattentechnik" mit RGW-Beteiligung

● 20. bis 22. Oktober Berlin — 3rd IFAC-Workshop on Real Time Programming

● 24. bis 28. Oktober Ilmenau — 33. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium der TH Ilmenau zu Fragen der technischen und biomedizinischen Kybernetik sowie der Mathematik, Rechentechnik und ökonomischen Kybernetik

● 25. Oktober Berlin — 15. Fachtagung „Elektronische Steuerungssysteme" des FA 14 des FV Elektrotechnik in der KDT

● 25. bis 28. Oktober — SYSTEC – Internationale Fachmes-

München/ BRD — se mit Kongreß für Computerintegration

- 27. bis 28. Oktober Magdeburg — 1. Fachtagung „Prozeßsicherung im automatischen Betrieb“
- 2 Tage Oktober/November Karl-Marx-Stadt — 6. Tagung „Meßinformationssysteme“
- 3 Tage Oktober Berlin — 2. CAD/CAM-Konferenz der WGMA
- 6. bis 10. November Sydney/ Australien — International Symposium and Exposition on Robots
- 9. bis 11. November Fulda/ BRD — IFAC/IFIP-Symposium on Safety Related Computers (SAFECOMP ’88)
- 10. bis 11. November Leipzig — Fachtagung „Standardisierung“ des FV Elektrotechnik der KDT
- 15. bis 18. November Göteborg/ Schweden — SCAN AUTOMATIC (Internationale Messe für Hydraulik, Pneumatik, Elektronik, Robotik)
- 17. bis 18. November Basel/ Schweiz — Internationales Hightech-Forum mit Ausstellung (Kongresse, Seminare, Pilotprojekte, Veröffentlichungen)
- 17. bis 18. November Gera — 5. Fachtagung „Hybridmikroelektronik“ mit internationaler Beteiligung
- 2 Tage November Berlin — Jahrestagung der WGMA „Automatisierungstechnik“
- 7. bis 9. Dezember Dresden — 6. Fachtagung „Applikation Mikroelektronik“ mit RGW-Beteiligung
- 15. bis 16. Dezember Berlin — Fachtagung „Computer und Mikroprozessortechnik ’88“ mit RGW-Beteiligung
- 3 Tage Dezember Rostock — 17. Jahrestagung „Grundlagen der Modellierung und Simulationstechnik“

1989

- 8. bis 15. März Hannover/ BRD — Hannover-Messe CeBIT
- 12. bis 18. März Leipzig — Leipziger Frühjahrsmesse
- 5. bis 12. April Hannover/ BRD — Hannover-Messe INDUSTRIE
- 19. bis 21. April Glasgow/ GB — IFAC-Symposium on Adaptive Systems in Control and Signal Processing
- 2 Tage Mai Leipzig — 9. Zuverlässigkeitstagung „Qualität und Zuverlässigkeit in automatisierten Produktionsprozessen“ mit RGW-Beteiligung
- 3 Tage Mai Frankfurt/ Oder — XIII. Mikroelektronik-Bauelemente-Symposium
- 2 Tage Mai Berlin — 2. Fachtagung „Industrielle Wägetechnik“
- 3 Tage Juni Berlin — 3. Fachtagung „Automatische Bildverarbeitung“
- 26. bis 29. Juni Perpignan/ Frankreich — 5th IFAC Symposium on Control of Distributed Parameter Systems
- August Lyngby/ Dänemark — IFAC-Symposium Robotics and Automation
- 28. August bis 1. September San Francisco/ USA — 11th IFIP World Computer Congress
- 28. bis 31. August Berlin — 5th IFAC-Symposium on Large Scale Systems: Theory and Applications
- 3. bis 9. September Leipzig — Leipziger Herbstmesse
- 4. bis 8. September Buenos Aires — 6th IFAC-Symposium on Automation in Mining, Mineral and Metal Processing
- 12. bis 14. September Xian/ VR China — 4th IFAC/IFIP/IEA/IFORS Conference on Analysis, Design and Evaluation of Man-Machine-Systems
- 2 Tage III. Quartal Berlin — 2. Internationale Fachtagung „Lichttechnik“
- 2 Tage Oktober Berlin — 12. Wissenschaftlich-Technische Konferenz „Automatisierungssysteme“
- 9. bis 14. Oktober Düsseldorf/ BRD — 11. INTERKAMA
- 1 Tag IV. Quartal Berlin — 16. Fachtagung „Elektronische Stromversorgungstechnik“ des FA 14 des FV Elektrotechnik in der KDT
- 2 Tage November Dresden — Jahrestagung der WGMA „Meßtechnik“
- 3 Tage Dezember Rostock — 18. Jahrestagung „Grundlagen der Modellierung und Simulationstechnik“

1990

- 2 Tage I. Quartal Halle — 12. Fachtagung „Licht und Gestaltung“ mit RGW-Beteiligung
- 11. bis 17. März Leipzig — Leipziger Frühjahrsmesse
- 21. bis 28. März Hannover/BRD — Hannover-Messe CeBIT
- 2. bis 9. Mai Hannover BRD — Hannover-Messe INDUSTRIE
- 2 Tage Juni Gera — 6. Fachtagung „Hybridmikroelektronik“ mit RGW-Beteiligung
- 13. bis 17. August Tallinn/ UdSSR — XI. IFAC-Weltkongreß
- 2 Tage III. Quartal Leipzig — Fachtagung „Standardisierung“ des FV Elektrotechnik in der KDT
- 2 Tage III. Quartal Berlin — Fachtagung „Aufsetzmontage in der Leiterplattentechnik“ mit RGW-Beteiligung
- 3 Tage September Berlin — 3. CAD/CAM-Konferenz der WGMA
- 2. bis 8. September Leipzig — Leipziger Herbstmesse
- 2 Tage Oktober Berlin — 13. Wissenschaftlich-Technische Konferenz „Automatisierungssysteme“
- 2 Tage November Leipzig — Jahrestagung der WGMA „Automatisierungstechnik“
- 1 Tag IV. Quartal Berlin — 17. Fachtagung „Elektronische Steuerungssysteme“ des FA 14 des FV Elektrotechnik in der KDT
- 2 Tage IV. Quartal Dresden — 7. Fachtagung „Applikation Mikroelektronik“ mit RGW-Beteiligung
- 3 Tage Dezember Rostock — 19. Jahrestagung „Grundlagen der Modellierung und Simulationstechnik“

Für den Tagungskalender bekamen wir u. a. von den Sekretariaten der WGMA und des FV Elektrotechnik in der KDT, der IFAC und der IMEKO sowie vom Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse der AdW der DDR Unterstützung. Die Ankündigungen sind als unverbindliche Informationen zu betrachten, da es bei den Veranstaltungen gelegentlich zu Terminverschiebungen oder anderweitigen Änderungen kommen kann. Von Rückfragen bitten wir abzusehen, da die Redaktion i. allg. über keine weiterreichenden Informationen verfügt. *Red.*

KURZFASSUNGEN

Balzer, D.; Böhme, B.:

Zum Einfluß der künstlichen Intelligenz auf Theorie und Praxis der Prozeßautomatisierung

msr, Berlin 30 (1987) 12, S. 530–534

Durch den Einsatz der künstlichen Intelligenz (KI) erfolgt eine immer stärkere gegenseitige Durchdringung von Informatik, Automatisierung und Verarbeitungs- und Verfahrenstechnik. Es kommt zu einer Kopplung von Methoden der KI mit algebraischen Automatisierungsalgorithmen. Der Gegenstand der Automatisierungstheorie wird wesentlich erweitert. Schwach strukturierte Probleme sind in Zukunft praktisch lösbar. Anhand von Beispielen werden diese Aussagen untermauert.

Böhme, D.; Wernstedt, J.:

Entwurfskonzepte für Beratungssysteme zur Lösung kybernetischer Aufgaben

msr, Berlin 30 (1987) 12, S. 535–539

Im Beitrag werden Entwurfskonzepte für rechnergestützte Entscheidungshilfen unter dem kybernetischen Gesichtspunkt dargestellt und verglichen. Wesentlich ist, daß bei den als Beratungssystem bezeichneten Entscheidungshilfen eine Problemlösung entsprechend dem jeweiligen Wissen vorgeschlagen wird. Damit werden die auf dem deklarativen Wissen und dem logischen Schluß basierenden Expertensysteme zum Bestandteil von Beratungssystemen.

Petersohn, U.; Pitschke, J.; Rohner, I.:

Nutzung von PROLOG zur Implementierung von Expertensystemen

msr, Berlin 30 (1987) 12, S. 540–543

Expertensysteme sind ein Teilgebiet der künstlichen Intelligenz. Im Beitrag werden Charakteristika von Expertensystemen aus funktioneller und programmtechnischer Sicht herausgearbeitet und die neue Qualität wissensverarbeitender Systeme im Vergleich zu traditionellen Systemen gezeigt. In diesem Zusammenhang werden Grundbausteine zur Konstruktion von Expertensystemen diskutiert. Dazu wird die logische Programmierung auf der Basis von micro-PROLOG genutzt.

Otto, P.; Puhlmann, R.; Trippler, D.; Wernstedt, J.; Bergmann, S.; Egelkraut, E.; Parsiegla, V.; Schmalfuß, V.:

PROFIS – ein Beratungs-/Expertensystem zur rechnergestützten Prozeßführung der Fertigung von integrierten Schaltkreisen

msr, Berlin 30 (1987) 12, S. 547–549

Es wird ein Prozeßführungssystem zur rechnergestützten Diagnose, Überwachung, Steuerung/Führung und Planung von Mengen- und Qualitätsparametern des Zyklus I der Fertigung von integrierten Schaltkreisen vorgestellt. Dabei wird aufgrund der Prozeßeigenschaften vom Konzept der Entscheidungsfindung durch Beratungs-/Expertensysteme unter Einbeziehung des Menschen ausgegangen. Am Beispiel der Durchlaufsteuerung werden die Grundstruktur des Algorithmus zur Entscheidungsfindung sowie der Gesamtaufbau des Beratungs-/Expertensystems dargestellt und auf die wichtigsten Ergebnisse und Erfahrungen beim Einsatz verwiesen.

Blau, J. R.; Weicker, A.; Ehrlich, R.; Schulze, E.; Leifheit, U.; Müller, K.:

Entwurf eines Beratungssystems zur Diagnose und Prognose der operationellen Kompetenz des Operators in Mensch-Maschine-Systemen

msr, Berlin 30 (1987) 12, S. 550–556

Die Erhöhung der Anforderungen an den Operator komplexer Systeme, die sich gegenwärtig durch die Einführung neuer Technologien vollzieht, motiviert die Entwicklung von Verfahren zur Diagnose und Prognose der Kompetenz von Operatoren. Die Komplexität der Struktur zielgerichteter menschlicher Handlungen erzwingt dafür einen multivariaten Ansatz, der physiologische, psychologische und operationelle Eigenschaften des Operators berücksichtigt. Zur Diagnose und Prognose der Kompetenz des Operators wird ein daten- und wissensbasiertes Beratungssystem konzipiert, das Verfahren der Systemanalyse/Modellbildung nutzt und die Verarbeitung subjektiver Informationen (Wissen) im Rahmen deklarativer Problembeschreibungen einbezieht.

Rauchhaus, K.-H.; Reinemann, G.; Weiß, W.; Briesovsky, J.:

Expertensysteme für die rechnergestützte Projektierung verfahrenstechnischer Anlagen

msr, Berlin 30 (1987) 12, S. 560–563

Ausgehend von der Feststellung, daß mit der Festlegung der apparativen und der technisch-technologischen Parameter sowie der Struktur einer Anlage das Verhalten des „Automatisierungsobjektes" entscheidend beeinflußt wird, erfolgt nachfolgend die Kennzeichnung der Erfordernisse und Möglichkeiten der Anwendung von Expertensystemen für die Anlagenprojektierung. Weiterhin werden erste Erfahrungen bei der Entwicklung expertensystemähnlicher Softwareprodukte für die rechnergestützte Auswahl konkreter Objekte mitgeteilt.

Böhme, B.; Balzer, D.; Starke, U.:

Expertensystem für die Produktionssicherung in einem Düngemittelwerk

msr, Berlin 30 (1987) 12, S. 564–566

Betrachtet wird die Implementierung eines Expertensystems für Aufgaben der Produktionssicherung in einem Düngemittelwerk bei plötzlich eintretenden oder längerfristig prognostizierten Dampfmangelsituationen. Anhand des beschriebenen komplexen technologischen Systems wird die Aufgabenstellung eingehend diskutiert. Besondere Aufmerksamkeit wird der Erstellung und Strukturierung der Wissensbasis gewidmet. Als Entwicklungssystem gelangt dabei das Expertensystem-Shell PROCON I zur Anwendung. Die Integration des Expertensystems in das Prozeßautomatisierungssystem wird gezeigt.

РЕЗЮМЕ

Balzer, D.; Böhme, B.:

О влиянии искусственного интеллекта на теорию и практику автоматизации процессов

msr, Berlin 30 (1987) 12, стр. 530–534

Путем применения искусственного интеллекта получается все более сильное взаимное проникание между информатикой, автоматизацией, техникой обработки и технологическим процессом. Получается связь методов искусственного интеллекта с алгебраическими алгоритмами. Предмет теории автоматизации значительно расширяется. Слабо структурированные проблемы в будущем практически решаемы. На примерах эти высказывания подтверждаются.

Böhme, D.; Wernstedt, J.:

Концепция проектирования для систем консультации с целью решения кибернетических задач

msr, Berlin 30 (1987) 12, стр. 535–539

В статье изображены и сравнены концепции проектирования для пособий принятия решения с применением вычислительной машины с точки зрения кибернетики. Важно является то, что при обозначенных как система консультации пособиях принятия решения предложено решение проблемы в соответствии с имеющимся знанием. Тем самым экспертные системы, основанные на декларативном знании и логическом выводе, становятся составной частью систем консультации.

Petersohn, U.; Pitschke, J.; Rohner, I.:

Использование ПРОЛОГ для имплементации экспертных систем

msr, Berlin 30 (1987) 12, стр. 540–543

Экспертные системы являются частичной областью искусственного интеллекта. В данной статье разработаны характеристики экспертных систем из функциональной и программнотехнической точки зрения, а также показано новое качество обрабатывающих знание систем по сравнению с традиционными системами. В этой связи обсуждены основные модули для конструкции экспертных систем. Для этой цели используется логическое программирование на основе МИКРО-ПРОЛОГ.

Otto, P.; Puhlmann, R.; Trippler, D.; Wernstedt, J.; Bergmann, S.; Egelkraut, E.; Parsiegla, V.; Schmalfuß, V.:

ПРОФИС – экспертная система обсуждения для управления процессом изготовления интегральных схем с применением ЭВМ

msr, Berlin 30 (1987) 12, стр. 547–549

Представлена система управления процессом для диагностики, контроля, управления и планирования с применением ЭВМ параметров количества и качества цикла I изготовления интегральных схем. При этом исходят на основе свойств процесса из концепта принятия решения путем экспертных систем обсуждения при включении человека. На примере управления передачей данных изображены основная структура алгоритма принятия решения, а также общее построение экспертной системы обсуждения, и указаны на основные результаты и опыт при применении.

Blau, J. R.; Weicker, A.; Ehrlich, R.; Schulze, E.; Leifheit, U.; Müller, K.:

Разработка системы обсуждения для диагностики и прогноза операционной компетенции оператора в системах человек – машина

msr, Berlin 30 (1987) 12, стр. 550–556

Повышение требований к оператору комплексных систем, происходящее в настоящее время путем введения новых технологий, мотивирует развитие методов диагностики и прогноза компетенции операторов. Комплексность структуры целенаправленных человеческих действий принуждает для этого мультивариантный подход, учитывающий физиологические, психологические и операционные свойства оператора. Для диагностики и прогноза компетенции оператора концепирована система обсуждения, основанная на данных и знаниях, использующая методы анализа системы/образования модели и включающая обработку субъективной информации (знания) в рамках декларативных описаний проблемы.

Rauchhaus, K.-H.; Reinemann, G.; Weiß, W.; Briesovsky, J.:

Экспертные системы для проектирования технологических установок с применением ЭВМ

msr, Berlin 30 (1987) 12, стр. 560–563

Исходя из установления, что путем определения приборных и технически-технологических параметров, а также структуры установки решающим образом оказывается влияние на поведение „объекта автоматизации", происходит последующим обозначение требований и возможностей применения экспертных систем для проектирования установок. Кроме того, сообщен первый опыт при разработке продуктов матобеспечения, похожих на системы экспертов, для выбора конкретных объектов при применении ЭВМ.

Böhme, B.; Balzer, D.; Starke, U.:

Экспертная система для сохранения производства на заводе, изготовляющем удобрения

msr, Berlin 30 (1987) 12, стр. 564–566

Рассмотрена имплементация экспертной системы для задач сохранения производства на заводе, изготовляющем удобрения, при внезапно возникающих или долгосрочно прогнозированных ситуациях нехватки пара. На основе описанной комплексной технологической системы подробно обсуждена установка задачи. Особое внимание уделяется разработке и структурированию основы знаний. В качестве системы разработки применяется при этом экспертная система шелл PROCON I. Показана интеграция экспертной системы в систему автоматизации процесса.

SUMMARIES

Balzer, D.; Böhme, B.:

Influence of Artificial Intelligence on Theory and Practice of Process Automation

msr, Berlin 30 (1987) 12, pp. 530—534

Due to the use of artificial intelligence the fields of computer science, automation, manufacturing and process engineering are more and more influencing each other. Methods of AI will be coupled with algebraic automation algorithms, the subject of automation theory being essentially extended. Problems weakly structured will be solvable in future. The statements are supportet by means of examples.

Böhme, D.; Wernstedt, J.:

Design Concepts of Advisory Systems for Solving Cybernetical Problems

msr, Berlin 30 (1987) 12, pp. 535—539

The authors represent and compare computer-aided decision support systems from a cybernetical point of view. The decision aids designated as advisory systems propose problem solutions according to the current knowledge. Thus, the expert systems based on declaratory knowledge and logical conclusion become part of advisory systems.

Petersohn, U.; Pitschke, J.; Rohner, I.:

The use of PROLOG for Implementing Expert Systems

msr, Berlin 30 (1987) 12, pp. 540—543

Expert systems represent a partial field of artificial intelligence. The authors point out the characteristics of expert systems from a functional and software point of view and show the new quality of knowledge processing systems in comparison with traditional systems, basic modules for designing expert systems being discussed. The logic programming based on micro-PROLOG is used.

Otto, P.; Puhlmann, R.; Trippler, D.; Wernstedt, J.; Bergmann, S.; Egelkraut, E.; Parsiegla, V.; Schmalfuß, V.:

PROFIS — an Advisory and Expert System for the Computer-Aided Process Control of the Production of Integrated Circuits

msr, Berlin 30 (1987) 12, pp. 547—549

The authors present a process control system for computer-aided diagnosis, supervision, control and planning of mass and quality parameters in the cycle I of the production of integrated circuits. Due to the process characteristics the decision making is based on advisory and expert systems, the cooperation of man being integrated. The basic structure of the decision making algorithm and the overall structure of the advisory and expert system are described by the example of a passage control and the most important results and experiences of the practical application are pointed out.

Blau, J. R.; Weicker, A.; Ehrlich, R.; Schulze, E.; Leifheit, U.; Müller, K.:

Design of an Advisory System for the Diagnosis and Prognosis of the Operational Competency of the Operator in Man-Machine Systems

msr, Berlin 30 (1987) 12, pp. 550—556

The requirements to be met by the operator of complex systems and increased at present due to the use of new technologies cause the development of methods for diagnosis and prognosis of the operator's competency. The complexity of the structure of systematic human activities leads to a multivariate approach taking into account physiological, psychological and operational capabilities of the operator. For diagnosis and prognosis of the operator's competency the authors design a data- and knowledgebased advisory system integrating methods of systems analysis and model formation as well as the processing of subjective information (knowledge) within the scope of declaratory problem descriptions.

Rauchhaus, K.-H.; Reinemann, G.; Weiß, W.; Briesovsky, J.:

Expert Systems for the Computer-Aided Projecting of Technological Plants

msr, Berlin 30 (1987) 12, pp. 560—563

Starting from the fact that the determination of the device and technology parameters as well as of the structure of a plant essentially influences the behavior of the automation object the authors point out the requirements and possibilities of the application of expert systems for the projecting of plants. Furthermore first experiences of developing expert system-like software products for the computer-aided selection of special objects are communicated.

Böhme, B.; Balzer, D.; Starke, U.:

Expert System for Production Safeguard of a Fertilizer Factory

msr, Berlin 30 (1987) 12, pp. 564—566

The authors consider the implementation of an expert system for the production safeguard of a fertilizer plant with situations of steam lack arising suddenly or being prognosticated in a long-term way. The problem statement is discussed in detail by means of the complex technological system described. Establishing and structuring the knowledge basis are particularly taken into account, the expert system shell PROCON I being applied as development system. The integration of the expert system into the process automation system is treated.

RÉSUMÉS

Balzer, D.; Böhme, B.:

L'influence de l'intelligence artificielle sur la théorie et la pratique de l'automatisation de processus

msr, Berlin 30 (1987) 12, pp. 530—534

L'emploi de l'intelligence artificielle conduit de plus en plus à une influence mutuelle de l'informatique, l'automatisation et les techniques d'usinage et de procédé. Les méthodes de l'intelligence artificielle seront couplées avec les algorithmes algébriques d'automatisation. Le sujet de la théorie d'automation sera essentiellement étendu. Les problèmes structurés faiblement pourront être solutionnés à l'avenir. Les constatations sont supportées à l'aide d'exemples.

Böhme, D.; Wernstedt, J.:

Des concepts de projet des systèmes conseilleurs pour la solution des problèmes cybernétiques

msr, Berlin 30 (1987) 12, pp. 535—539

Les auteurs représentent et comparent l'un l'autre des concepts de projet pour des systèmes de support de décision assistés par ordinateur d'un point de vue cybernétique. Les supports de décision désignés comme systèmes conseilleurs proposent une solution de problème selon les connaissances actuelles. C'est pourquoi, les systèmes experts basés sur les connaissances déclaratives et la conclusion logique deviennent partie des systèmes conseilleurs.

Petersohn, U.; Pitschke, J.; Rohner, I.:

L'emploi de PROLOG pour l'implémentation des systèmes experts

msr, Berlin 30 (1987) 12, pp. 540—543

Les systèmes experts représentent un domaine partiel de l'intelligence artificielle. Les auteurs soulignent les caractéristiques des systèmes experts d'un point de vue de fonction et de logiciel et montrent la nouvelle qualité des systèmes de traitement des connaissances avec les systèmes traditionnels. Les modules de base pour la contsruction des systèmes experts sont discutés et la programmation logique basée sur micro-PROLOG est utilisée.

Otto, P.; Puhlmann, R.; Trippler, D.; Wernstedt, J.; Bergmann, S.; Egelkraut, E.; Parsiegla, V.; Schmalfuß, V.:

PROFIS — un système conseilleur et expert pour la commande assistée par ordinateur de processus de production des circuits intégrés

msr, Berlin 30 (1987) 12, pp. 547—549

Les auteurs présentent un système de commande de processus pour la diagnose, la surveillance, la commande et le planning assistés par ordinateur des paramètres de masse et de qualité du cycle I de la fabrication des circuits intégrés. En conséquence de caractéristiques de processus, la recherche de décision est basée sur les systèmes conseilleurs et experts tout en incorporant l'homme. La structure de base de l'algorithme pour la recherche de décision ainsi que la structure totale du système conseilleur et expert sont traitées et les résultats et les expériences de l'emploi pratique sont cités.

Blau, J. R.; Weicker, A.; Ehrlich, R.; Schulze, E.; Leifheit, U.; Müller, K.:

Le projet d'un système conseilleur pour la diagnose et la prognose de la compétence opératoire de l'opérateur dans les systèmes homme-machine

msr, Berlin 30 (1987) 12, pp. 550—556

Les exigences à remplir par l'opérateur des systèmes complexes et, à présent, augmentant en conséquence de l'introduction de nouvelles technologies stimulent le développement de méthodes pour la diagnose et la prognose de la compétence de l'opérateur. La complexité de la structure des activités humaines systématiques conduit à une approche multi-dimensionnelle tenant compte des capacités physiologiques, psychologiques et opératoires de l'opérateur. Pour la diagnose et la prognose de la compétence de l'opérateur, on projette un système conseilleur basé sur données et connaissances et incorporant des méthodes de l'analyse des systèmes et de la formation de modèle ainsi que le traitement des informations subjectives (connaissances) en cadre de descriptions déclaratives de problèmes.

Rauchhaus, K.-H.; Reinemann, G.; Weiß, W.; Briesovsky, J.:

Les systèmes experts pour la conception assistée par ordinateur des installations technologiques

msr, Berlin 30 (1987) 12, pp. 560—563

A partir de la cônstatation que la détermination des paramètres des dispositifs et de la technologie ainsi que de la structure d'une installation influence essentiellement le comportement d'un objet à automatiser, les auteurs soulignent les exigences et les possibilités de l'emploi des systèmes experts pour le projet des installations. De plus, les premières expériences dans le développement de produits logiciel similaires aux systèmes experts pour la sélection assistée par ordinateur des objets spéciaux sont communiquées.

Böhme, B.; Balzer, D.; Starke, U.:

Un système expert pour la sûreté de la production d'une usine d'engrais

msr, Berlin 30 (1987) 12, pp. 564—566

Les auteurs s'occupent de l'implémentation d'un système expert pour la sûreté de la production d'une usine d'engrais en cas de situations de manque de vapeur qui apparaissent tout à coup ou sont prédites à long terme. La formulation de problème est discutée en détail à l'aide du système technologique complexe décrit. L'établissement et la structuration de la base des connaissances sont considérés particulièrement. L'enveloppe de système expert PROCON I est utilisée comme système de développement. L'intégration du système expert dans le système d'automation de processus est montrée.

Hierbei handelt es sich um neue Titel aus der UdSSR, die dem sowjetischen Neuerscheinungsdienst „Novye knigi“ entnommen sind. Die Bücher können über den Volksbuchhandel bestellt werden.

[1] *Smirnov, A.*: Architektura vyčislitel'nych sistem (Architektur von Rechnersystemen). Nauka. 4. Quart. 1988. NK 87–13 (516).

[2] *V'juokova, N.; Galatenko, V.; Choldulev, A.*: Sistematičeskoe vvedenie v programmirovanie (Systematische Einführung in die Programmierung). Nauka. 1. Quart. 1988. NK 87–13 (539).

[3] *Dneprovskij, E.*: Vysokoproizvoditel'nye sistemy otobraženija i dokumentirovanie grafičeskoj informacii (Hochproduktive Systeme zur Abbildung und Dokumentation grafischer Information). Nauka i technika (BSSR). 2. Quart. 1988. NK 87–8 (87).

[4] *Enin, S.*: Logičeskoe modelirovanie diskretnych ustrojstv (Logische Modellierung diskreter Anlagen). Nauka i technika (BSSR). 2. Quart. 1988. NK 87–8 (88).

[5] *Zakrevskij, A.*: Logika raspoznavanija (Logik der Erkennung). Nauka i technika (BSSR). 2. Quart. 1988. NK 87–8 (89).

[6] *Čegolin, P.; Borisov, I.; Danilenko, V.*: Cifrovye sistemy upravlenija dinamičeskimi ispytanijanmi na osnove algebraičeskich metodov (Digitale Systeme der Steuerung dynamischer Erprobungen auf der Grundlage algebraischer Methoden). Nauka i technika (BSSR). 2. Quart. 1988. NK 87–8 (90).

[7] *Ioffe, A.*: Personal'nye EVM v organizacionnom upravlenii (Personalcomputer in der Organisationssteuerung). Nauka. 3. Quart. 1987. NK 87–8 (99).

[8] *Katkov, V.*: Personal'nye EVM — novyj instrument avtomatizacii (Personalcomputer — neues Instrument der Automatisierung). Nauka i technika (BSSR). 1. Quart. 1988. NK 87–8 (154).

[9] *Buchtijarov, A.; Malikova, Ju.; Frolov, G.*: Praktikum po programmirovaniju na fortrane (OS ES EVM) (Praktikum zur Programmierung in FORTRAN (OS ES)). Nauka. 2. Quart. 1987. NK 87–8 (354).

[10] Problemy mašinostroenija i avtomatizacii (Probleme des Maschinenbaus und der Automatisierung. Ausg. 16). Meždunar. centr. nauč. i techn. inf. 2. Quart. 1987. NK 87–9 (159).

[11] *Granberg, A.; Suspicyn, S.*: Vvedenie v sistemnoe modelirovanie narodnogo chozjajstva (Einführung in die Systemmodellierung der Volkswirtschaft). Nauka .4. Quart. 1987. NK 87–14 (101).

[12] *Ermilov, A.*: Makroekonomičeskoe prognozirovanie v SČA (Makro-ökonomische Vorhersage in den USA). Nauka. 4. Quart. 1987. NK 87–14 (102).

[13] *Nikišin, V.; Vodolazskij, V.*: Sistemy proektirovanija TOPTRAN (System zur Projektierung TOPTRAN). Nauka. 4. Quart. 1987. NK 87–14 (173).

[14] *Akaev, A.; Majorov, S.*: Optičeskie metody obrabotki informacii (Optische Methoden der Informationsverarbeitung). Vysš. škola 1. Quart. 1988. NK 87–15 (206).

[15] *Družinin, Ju.; Zubov, V.; Lavrov, V.*: Proektirovanie mechanizmov priborov i vyčislitel'nych sistem s primeneniem EVM (Projektierung von Mechanismen der Geräte und Rechner mit Hilfe der EDV-Anlage). Vysš. škola. 3. Quart. 1988. NK 87–15 (247).

[16] *Kazarinov, Ju.; Nomokanov, V.; Filippov, F.*: Primenenie mikroprocessornych i mikro EVM v radiotechničeskich sistemach (Anwendung von Mikroprozessoren und Mikrorechnern in radiotechnischen Systemen). Vysš. škola. 3. Quart. 1988. NK 87–15 (261).

[17] Mechanika promyšlennych robotov (Mechanik der Industrieroboter). Vysš. škola.
  I. Kinematika i dinamika (Kinematik und Dynamik). 3. Quart. 1988. NK 87–15 (290).
  II. Rasčet i proektirovanie mechanizmov (Berechnung und Projektierung von Mechanismen). 3. Quart. 1988. NK 87–15 (291)
  III. Osnovy konstruirovanija (Grundlagen der Konstruktion). 4. Quart. 1988. NK 87–15 (292).

[18] Mikro EVM (Mikrorechner). Vysš. škola.
  1. Semejstvo EVM „Elektronika“ (Rechnerfamilie Elektronika). 1. Quart. 1988. NK 87–15 (293).
  2. Personal'nye EVM (Personalcomputer). 1. Quart. 1988. NK 87–15 (294).
  3. Semejstvo EVM „Elektronika K1“ (Familie der Mikrorechner Elektronika K1). 1. Quart. 1988. NK 87–15 (295).
  4. Upravljajuščie sistemy „Elektronika NC“ (Steuerrechner „Elektronika NC). 1. Quart. 1988. NK 87–15 (296).
  5. Personal'nye-professional'nye EVM (Personalspezialrechner). 1. Quart. 1988. NK 87–15 (297).
  6. Universal'nye mašiny semejstva SM 1800 (Universalrechner der Familie SM 1800). 2. Quart. 1988. NK 87–15 (298).
  7. Učebnye stendy (Lehrcomputer). 3. Quart. 1988. NK 87–15 (299).
  8. Mikro EVM dlja školy (Schulrechner). 2. Quart. 1988. NK 87–15 (300).

[19] *Sovetov, B.; Jakovlev, S.*: Modelirovanie sistem (Systemmodellierung). Vysš. škola. 2. Quart. 1988. NK 87–15 (335).

[20] *Prochorskij, A.*: Osnovy avtomatiki i telemechaniki (Grundlagen der Automatik und Fernwirktechnik). Vysš. škola. 2. Quart. 1988. NK 87–15 (372).

[21] *Beljakova, G.*: EVM i naučno-techničeskij progress (EDV-Anlagen und wissenschaftlich-technischer Fortschritt). Vysš. škola. 2. Quart .1988. NK 87–15 (383).

[22] *Ismailov, R.; Korzavin, A.*: Avtomatika i robototechnika v mašinostroenii (Automatik und Robotertechnik im Maschinenbau). Vysš. škola. 1. Quart. 1988. NK 87–15 (397).

[23] *Kanter, L.*: Sistemnyj analiz rečevoj intonacii (Systemanalyse der Sprachbetonung). Vysš. škola. 2. Quart. 1987. NK 87–15 (398).

[24] *Vojnenko, V.; Munipov, V.*: Ergonomičeskie principy konstruirovanija (Ergonomische Prinzipien der Konstruktion). Technika (USSR). 3. Quart. 1988. NK 87–16 (10).

[25] *Kornejčuk, V.; Tarasenko, V.*: Vyčislitel'nye ustrojstva na mikroschemach (Rechneranlagen auf Mikroschaltkreisen). Technika (USSR). 3. Quart. 1988. NK 87–16 (26).

[26] *Ruban, V.; Drogal', T.*: Integracija ASU na osnove baz dannych (Integration von ASU auf der Grundlage von Datenbanken). Technika (USSR). 2. Quart. 1988. NK 87–16 (29).

[27] Adaptivnye sistemy avtomatičeskogo upravlenija (Adaptive Systeme der automatischen Steuerung. Ausg. 16.) Technika (USSR). 4. Quart. 1988. NK 87–16 (59).

[28] Technologija i avtomatizacija mašinostroenija (Technologie und Automatisierung des Maschinenbaus). Technika (USSR). Ausg. 41. 1. Quart. 1988. NK 87–16 (83); Ausg. 42. 4. Quart. 1988. NK 87–16 (84).

[29] *Buchstaber, V.; Zelenjuk, E.; Zubenko, L*: Konstruirovanie interaktivnych sistem analiza dannych (Konstruktion interaktiver Datenanalysesysteme). Finansy i statistika. 3. Quart. 1988. NK 87–17 (71). msr 8749

messen · steuern · regeln

Herausgeber: Kammer der Technik, Wissenschaftlich-Technische Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik (WGMA)

Verlag: VEB Verlag Technik, Oranienburger Str. 13/14, PSF 201, Berlin, DDR-1020, Telegrammadresse: Technikverlag Berlin; Telefon: 28700; Telex: 0112228 techn dd

Verlagsdirektor: Dipl.-Ing. *Klaus Hieronimus*

Redaktion: Dr.-Ing. *Dietrich Werner*, Verantwortlicher Redakteur (Telefon: 2870362)
Dr.-Ing. *Jürgen Wede*, Redakteur (Telefon: 2870374)

Gestaltung: *Karen Wohlgemuth* (Telefon: 2870288)

Lizenz-Nr.: 1112 des Presseamtes beim Vorsitzenden des Ministerrates der Deutschen Demokratischen Republik

AN (EDV): 15936

Erscheinungsweise: monatlich 1 Heft

Heftpreis: 4,— M, Abonnementpreis vierteljährlich 12,— M; Auslandspreise sind den Zeitschriftenkatalogen des Außenhandelsbetriebs BUCHEXPORT zu entnehmen.

Gesamtherstellung: VEB Druckerei „Thomas Müntzer“, Bad Langensalza, 5820

Anzeigenannahme: Für Bevölkerungsanzeigen alle Anzeigen-Annahmestellen in der DDR, für Wirtschaftsanzeigen der VEB Verlag Technik, Oranienburger Str. 13/14, PSF 201, Berlin, 1020. Anzeigenpreisliste Nr. 7; Auslandsanzeigen: Interwerbung GmbH, Hermann-Duncker-Str. 89, Berlin, DDR-1157

Erfüllungsort und Gerichtsstand: Berlin-Mitte. Der Verlag behält sich alle Rechte an den von ihm veröffentlichten Aufsätzen und Abbildungen, auch das der Übersetzung in andere Sprachen vor. Auszüge, Referate und Besprechungen sind nur mit voller Quellenangabe zulässig.

Bezugsmöglichkeiten:

DDR: sämtliche Postämter

SVR Albanien: Direktorije Quendrore e Perhapjes dhe Propaganditit te Librit Rruga Konference e Pezes, Tirana

VR Bulgarien: Direkzia R.E.P., 11a, Rue Paris, Sofia

VR China: China National Publications Import and Export Corporation, West Europe Department, P.O. Box 88, Beijing

ČSSR: PNS — Ústřední Expedicia a Dovoz Tisku Praha, Slezska 11, 12000 Praha 2; PNS, Ústredná Expedicia a Dovoz Tlače, Posta 022 88547 Bratislava

SFR Jugoslawien: Jugoslovenska Knjiga, Terazije 27, Beograd; Izdavačko Knjižarsko Produzeće MLADOST, Ilica 30, Zagreb

Koreanische DVR: CHULPANMUL Korea Publications Export & Import Corporation, Pyongyang

Republik Kuba: Empresa de Comercio Exterior de Publicaciones, O'Reilly No. 407, Ciudad Habana

VR Polen: C.K.P. i.W. Ruch, Towarowa 28, 00-958 Warszawa

SR Rumänien: D.E.P. Bucureşti, Piaţa Scienteii, Bucureşti

UdSSR: Städtische Abteilungen von Sojuzpečat oder Postämter und Postkontore

Ungarische VR: P.K.H.I., Külföldi Előfizetési Osztály, P.O. Box 16, 1426 Budapest

SR Vietnam: XUNHASABA, 32, Hai Ba Trung, Hanoi

BRD und Berlin (West): ESKABE Kommissions-Grossobuchhandlung, Postfach 36, 8222 Ruhpolding/Obb.; Helios Literatur-Vertriebs-GmbH, Eichborndamm 141–167, Berlin (West) 52; Kunst und Wissen Erich Bieber OHG, Postfach 46, 7000 Stuttgart 1; Gebrüder Petermann, BUCH + ZEITUNG INTERNATIONAL, Kurfürstenstraße 111, Berlin (West) 30

Österreich: Helios Literatur-Vertriebs-GmbH & Co. KG, Industriestraße B 13, A-2345 Brunn am Gebirge

Schweiz: Verlagsauslieferung Wissenschaft der Freihofer AG, Weinbergstr. 109, 8033 Zürich

Alle anderen Länder: örtlicher Buchhandel; BUCHEXPORT Volkseigener Außenhandelsbetrieb der Deutschen Demokratischen Republik, Postfach 160, Leipzig, DDR-7010 und Leipzig Book Service, Talstraße 29, Leipzig, DDR-7010.

Abnahmebedingungen

17. Herbstkurse Technische Kybernetik

Die jährlich stattfindenden Herbstkurse Technische Kybernetik dienen der Weiterbildung von Hoch- und Fachschulkadern. Die 17 Kurse finden in der Zeit vom

14. bis 18. März 1988 in Rostock

statt. Sie werden von der Sektion Technische Elektronik der Wilhelm-Pieck-Universität in Zusammenarbeit mit den der Kooperationsgemeinschaft „Technische Kybernetik" angehörenden Sektionen der Hochschulen, den Instituten der Akademie der Wissenschaften der DDR sowie dem Fachausschuß „Ausbildung in der Automatisierungstechnik" der WGMA gestaltet. Der fachliche Inhalt wird in den nachfolgend angeführten vier Sektionen (je 8 Doppelstunden) vermittelt, wobei jeweils zwei Sektionen parallel laufen.

Sektion 1: Entwurf und Implementation digitaler Regelalgorithmen
Dr. sc. techn. *B. Lampe* (WPU Rostock)

1. Theoretische Grundlagen
   - 1.1. Eingangs-/Ausgangsbeschreibung und Zustandsbeschreibung von zeitdiskreten Regelungssystemen
   - 1.2. Reglerentwurf durch Vorgabe des Übertragungsverhaltens des Regelkreises
   - 1.3. Optimale Regelung nach quadratischen Gütekriterien
2. Aspekte bei der praktischen Umsetzung der Regelalgorithmen
   - 2.1. Berücksichtigung einfacher Nichtlinearitäten, insbesondere von Begrenzungen
   - 2.2. Einfluß von Modellungenauigkeiten
   - 2.3. Numerische Probleme
   - 2.4. Gestaltung der Software
3. Entwicklung und Nutzung von Entwurfs- und Implementationshilfsmitteln
   - 3.1. Entwicklungsplatz für den interaktiven Entwurf digitaler Regelungen

Sektion 2: Entwurf und Technik eines modularen Mikroprozeßrechnersystems
Dr.-Ing. *W. Fengler* (TH Ilmenau)

1. Grundbegriffe zur Mikroprozeßrechentechnik
2. Systemarchitektur
   - 2.1. Systemeinordnung
   - 2.2. Serieller Systembus ISB 881
   - 2.3. Modul- und Systemgrundstrukturen
   - 2.4. Softwarekonzept
3. Hardware-Strukturen
   - 3.1. Zentrale Recheneinheiten
   - 3.2. Analoge Prozeßperipherie
   - 3.3. Digitale Prozeßperipherie
   - 3.4. Kommunikationsschnittstellen
4. Software-Architekturen
   - 4.1. Universelle Programmiersprache (FORTH)
   - 4.2. Echtzeitspracherweiterung
   - 4.3. Kommunikationsspracherweiterung
   - 4.4. Fachsprache für analoge Prozeßdatenverarbeitung (PROMAR)
   - 4.5. Steuerungs-Fachsprachen
   - 4.6. Dialog-Fachsprache
5. Entwurfsmethodik
   - 5.1. Entwicklungssysteme
   - 5.2. Allgemeiner Softwareentwurf
   - 5.3. Systemspezifikation
   - 5.4. Programmentwurf mit Fachsprachen
   - 5.5. Programmentwurf für parallele Prozesse

Sektion 3: Robuste Mehrgrößenregelung
Dr. sc. techn. *J. Lunze* (AdW der DDR, ZKI Dresden)

1. Einführung: Motivation der robusten Regelung, Probleme der Analyse und des Entwurfs bei Modellunbestimmtheiten
2. Empfindlichkeitsanalyse und -entwurf
3. Modellierung unvollständig bekannter Systeme: Beschreibungsformen für Systeme mit Parameter- oder Strukturunsicherheiten
4. Analyse rückgekoppelter Systeme mit beschränkten Modellunsicherheiten
5. Parameterraum-Entwurf robuster Zustands- und Ausgangsrückführungen
6. Entwurf robuster Regler für Systeme mit beschränkten Modellunsicherheiten
7. Anwendungen: Robuste PI-Regelung (Existenz robuster PI-Regler, notwendige Kenntnisse über die Regelstrecke für den Entwurf, Entwurfsverfahren), Einstellvorschriften für Mehrgrößenregler, Entwurf robuster dezentraler Regler

Sek 4: Ütionberwachung und Diagnostizierung industrieller Binärsteuerungen
Dr. sc. techn. *G. Liermann* (TU Magdeburg)

1. Grundlegende Problemstellung (Abgrenzung, Begriffe)
2. Analyse industrieller Binärsteuerungen als Überwachungs- und Diagnostizierungsobjekt
   — Ausfallverhalten/Fehlerdiagnose
   — Modellierung
3. Technische Lösungen unter besonderer Berücksichtigung speicherprogrammierbarer Steuereinrichtungen
4. Entwurf von Überwachungs- und Diagnostizierungsmaßnahmen (Entwurfskriterien, Entwurfsschritte)

Tagungszeitpunkt: 14. bis 18. März 1988
Tagungsort: Wilhelm-Pieck-Universität Rostock
Sektion Technische Elektronik
Rostock-Südstadt,
Albert-Einstein-Str. 2
Tagungsbüro: Sektion Technische Elektronik, Lichthof
Zeitplan:

	Mo	Di	Mi	Do	Fr
vormittags	—	2,3	2,3	2,3	2,3
nachmittags	1,4	1,4	1,4	1,4	—

Tagungsgebühr: 100,— M
Tagungsleitung: Prof. Dr. sc. techn. *K. Hormann*
Tagungsanmeldung: bis 29. 1. 1988
Übernachtungsmöglichkeiten stehen für die Nächte vom 14. bis 18. 3. 1988 zur Verfügung.

Anfragen, die sich auf die Herbstkurse beziehen, richten Sie bitte an
Dr.-Ing. *W. Drewelow* (Tel. 45202)
Wilhelm-Pieck-Universität Rostock
Sektion Technische Elektronik
Albert-Einstein-Str. 2
Rostock
2500

6. Fachtagung „Mikroelektronik '88"

Die o. g. Fachtagung mit internationaler Beteiligung findet vom 7. bis 9. Dezember 1988 in Dresden statt.
Veranstalter:
Fachverband Elektrotechnik in der Kammer der Technik,
Wissenschaftliche Sektion Bauelemente der Elektrotechnik/Elektronik
in Abstimmung mit der Föderation der sozialistischen Länder — FeNTO.
Über folgende *Arbeitsrichtungen* wird informiert und beraten:

1. Einschätzung des internationalen Standes und der weiteren Tendenzen der Entwicklung und Anwendung der Mikroelektronik in Form von Plenar- und Übersichtsvorträgen
2. Information zur Entwicklung und Anwendung moderner elektronischer Bauelemente
3. Verfügbare Kleincomputer für Rationalisierungsaufgaben
4. Schlüsseltechnologie Mikroelektronik — Basis für komplexe und flexible Automatisierungsaufgaben
5. Posterdiskussion und „Angebotsmesse" für nachnutzbare mikroelektronische Lösungen, insbesondere für Rationalisierungsaufgaben.

Vortragsmeldungen/Poster mit Titel und Inhaltsangabe (max. 10 bis 15 Zeilen) zu den vorgenannten Themen sind noch bis zum **15. Januar 1988** schriftlich an folgende Anschrift einzureichen:

Kammer der Technik
Präsidium — Fachverband Elektrotechnik
Clara-Zetkin-Str. 115—117
DDR — Berlin 1086

Auch Teilnahmemeldungen richten Sie bitte schriftlich an diese Adresse.

ISSN 0026-0347, mess., steuern, regeln
Berlin 30 (1987) 12, S. 529—576